

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA E MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

MARLON CERCAL DA SILVA
THIAGO CAMARGO VIEIRA

**ESTUDO DE DISPOSITIVO DIDÁTICO DE BAIXO CUSTO PARA
MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

MARLON CERCAL DA SILVA
THIAGO CAMARGO VIEIRA

**ESTUDO DE DISPOSITIVO DIDÁTICO DE BAIXO CUSTO PARA
MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo. Orientador: Prof. Dr. Celso Salamon.

CURITIBA
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

MARLON CERCAL DA SILVA
THIAGO CAMARGO VIEIRA

ESTUDO DE DISPOSITIVO DIDÁTICO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO DE FORÇA DE CORTE

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 25 de novembro de 2015, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sidney Carlos Gasoto
UTFPR

Prof. Dr. Daniel Hioki
UTFPR

Prof. Ubiradir Mendes Pinto
UTFPR

Prof. Dr. Celso Salamon
Orientador - UTFPR

AGRADECIMENTOS

Obviamente não serão nessas poucas linhas descritas que serão citadas todas as pessoas e profissionais que foram fundamentais para essa conquista, e que estiveram diretamente envolvidos no crescimento pessoal e profissional desde o começo deste curso.

Agradecemos o Prof. Celso Salamon pela orientação do trabalho, por auxiliar e dar suporte técnico e estar presente no desenvolvimento com a sua total dedicação e nos mantendo firmes aos objetivos propostos.

Somos gratos aos professores que compuseram a banca avaliadora, Professores Daniel Hioki, Ubiradir Mendes Pinto e Sidney Carlos Gasoto, estes que dispuseram de seu tempo para participarem do desfecho deste trabalho. Ao professor Ricardo Fernando dos Reis, que nos disponibilizou a máquina de ensaios do laboratório de materiais, e nos acompanhou e auxiliou no experimento.

Agradecemos também a todos os professores que fizeram parte da nossa formação acadêmica, em especial o corpo docente dos departamentos de Mecânica (DAMEC) e eletrônica (DAELN). Em conjunto a isso saudamos todos os profissionais da Universidade tecnológica Federal do Paraná, que com sua estrutura nos permitiu consolidar mais uma etapa em nossas vidas.

Gostaria de lembrar aos nossos amigos e colegas que foram indescritíveis a convivência e o crescimento mútuo que tivemos durante o período. Muitos trabalhos, aprendizados e desenvolvimento de atividades que nos proporcionaram um grande crescimento pessoal e profissional.

Nossos familiares foram de extrema importância, dando a força e sustentação para seguirmos firmes na caminhada até o final. Suportaram a carga imposta por esses longos anos de estudo e que agora vibram com nossa vitória. Um muito obrigado a todos.

RESUMO

SILVA, Marlon C.; VIEIRA Thiago C.; **Estudo de um dispositivo didático de baixo custo para a medição de força de corte**. 2015. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Este trabalho propõe-se a realizar um estudo para viabilizar um dispositivo didático de baixo custo para a medição de força de corte. Nesse contexto criou-se um equipamento baseado nos princípios de um transdutor extensométrico. Foram utilizados no dispositivo um circuito condicionador de sinal, um filtro e um microcontrolador arduino para aquisição de dados. Foi realizado um teste estático em máquina de ensaio com carga conhecida, o qual retratou linearidade e resultados próximos dos valores calculados. Também foi executado um teste dinâmico em um processo de torneamento, no qual os valores adquiridos apresentaram incerteza devido a fatores externos e a limitação do sistema. Verificou-se uma proximidade dos valores obtidos com o valor teórico segundo Kienzle e a norma AWF 158, citados no trabalho. Como resultado, obteve-se um dispositivo de baixo custo que é um potencial vetor para o ensino de força de corte.

Palavras-chave: Transdutor extensométrico. Baixo custo. Didático. Aquisição de dados.

ABSTRACT

SILVA, Marlon C.; VIEIRA Thiago C.; **Study of a didactic device inexpensive for measure of cutting force**. 2015. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

This work purpose realize a study for enable one didactic device inexpensive for measure of cutting force. In this sense created one equipment based on the principles of a strain gage. They were used in device one signal circuit conditioner, one filter and one microcontroller for data acquisition. It was realize one static test with known load, which portrayed linearity and results near of calculation values. Also it was one dynamic test in turning process, which the acquired values introduce uncertainty due of external factors and a system limitation. It checked one proximity of values obtained with a theoretical values of cutting force. Bring as result of study one device with a potential vector for education and with inexpensive.

Keywords: Strain gage. Inexpensive. Didactic. Data acquisition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Direção das componentes da força de usinagem em torneamento	13
Figura 02 – Determinação da área de contato da ferramenta peça para cálculo de pressão de corte.....	14
Figura 03 – Cunha de corte da ferramenta de torneamento	17
Figura 04 – Arestas de corte e superfícies da parte de corte de uma ferramenta de torneamento	18
Figura 05 – Deformação X tensão, lei de Hooke.....	19
Figura 06 – Tensão de Cisalhamento	21
Figura 07 – Diagrama esquemático de um extensômetro de fita metálica, colado sobre um corpo de prova	22
Figura 08 – Ponte de <i>Wheatstone</i>	24
Figura 09 – Diagrama filtro passa baixas	25
Figura 10 – Amplificador Operacional	25
Figura 11 – Amplificador subtrator	26
Figura 12 – Amplificador Inversor.....	27
Figura 13 – Amplificador Não Inversor	27
Figura 14 – Arduíno Mega 2560.....	28
Figura 15 – Diagrama em Blocos Macro do projeto	29
Figura 16 – Análise Elementos Finitos em Inventor	31
Figura 17 – Modelo 3D dispositivo em CAD (<i>Inventor</i>)	32
Figura 18 – Circuito medidor de sinal.....	37
Figura 19 – Circuito de amplificação do sinal	38
Figura 20 – Circuito de ligação do Arduíno	39
Figura 21 – Programação no IDE do Arduíno	40
Figura 22 – Fluxograma da lógica de programação	41
Figura 23 – Ensaio estático.....	42
Figura 24 – Ajuste da reta pelo método dos mínimos quadrados	43
Figura 25 – Torno mecânico utilizado para o ensaio.....	45
Figura 26 – Corpo peça de ensaio	46
Figura 27 – Aquisição de dados ensaio de torneamento	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Tabela parâmetros para cálculo de força de corte Kienzle.....	15
Tabela 2 – Tabela parâmetros para cálculo de força de corte norma alemã AWF....	16
Tabela 3 – Coeficientes e erros estimados pela regressão linear	43
Tabela 4 – Geometria ferramenta Ensaio Dinâmico.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CAD	Desenho auxiliado por computador
CAE	Engenharia auxiliado por computador
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DAMEC	Departamento Acadêmico Mecânica
DAELN	Departamento Acadêmico Eletrônica
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 PROBLEMA.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 Objetivo Geral.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 VARIÁVEIS DO PROJETO E MECÂNICO.....	13
2.1.1 Forças de Usinagem em Torneamento.....	13
2.1.2 Geometria cunha de corte.....	16
2.1.3 Tensão X Deformação.....	18
2.1.4 Cisalhamento.....	19
2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO E INTERFACE.....	22
2.2.1 Extensômetros Elétricos.....	22
2.2.2 Sistema de Medição.....	23
2.2.3 Amplificador Operacional.....	25
2.2.4 Sistema de Aquisição de Dados.....	27
3 METODOLOGIA	29
4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	30
4.1 ESCOLHA DO PORTA FERRAMENTA.....	30
4.2 MODELAGEM 3D SISTEMA MECÂNICO.....	31
4.3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA.....	32
4.4 FABRICAÇÃO E MONTAGEM SISTEMA MECÂNICO.....	34
4.5 MONTAGEM DISPOSITIVO.....	34
4.5.1 Preparação da Superfície e fixação do <i>Strain Gage</i>	35
4.6 ESQUEMÁTICO CIRCUITO ELETRÔNICO.....	36
4.7 PROGRAMAÇÃO ARDUINO.....	39
4.8 ENSAIO ESTÁTICO.....	42
5 ENSAIO PRELIMINAR EM PROCESSO DE TORNEAMENTO	44
5.1 EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA TORNEAMENTO.....	44
5.2 PEÇA DE ENSAIO.....	45
5.3 ÂNGULOS DE CORTE.....	46
5.4 PARÂMETROS DE CORTE.....	46
5.5 REALIZAÇÃO DO ENSAIO.....	47
6 DISCUSSÃO	49
7 CONCLUSÃO	50
8 ESTUDOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
APÊNDICE A - PROGRAMAÇÃO PARA ENSAIO ESTÁTICO.....	55
APÊNDICE B - PROGRAMAÇÃO PARA ENSAIO DINÂMICO.....	57
ANEXO A - LISTA DE MATERIAIS E CUSTO.....	59
ANEXO B - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA ARDUINO ATMEGA 2560.....	60
ANEXO C - ESPECIFICAÇÃO FONTE CHAVEADA HENRY EQUIPAMENTOS.....	61
ANEXO D - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA EXTENSÔMETRO.....	62
ANEXO E - DATASHEET TL084CN.....	63

1 INTRODUÇÃO

KRASILCHIK (2008) afirma que dentre as modalidades didáticas existentes, tais como aulas expositivas, demonstrações, excursões, discussões, aulas práticas e projetos, como forma de vivenciar o método científico, as aulas práticas e projetos são mais adequados. Entre as principais funções das aulas práticas essa autora cita: despertar e manter o interesse dos alunos; envolver os estudantes em investigações científicas; desenvolver a capacidade de resolver problemas; compreender conceitos básicos; e desenvolver habilidades.

Assim, tornando este conceito em uma aplicação prática, a proposta deste trabalho é desenvolver um dispositivo de baixo custo para auxiliar de forma prática no aprendizado de conceitos referentes a processos de fabricação.

1.1 PROBLEMA

A tecnologia aplica conhecimentos técnicos e científicos para a transformação de processos e equipamentos. Tendo isso em vista, podemos dizer que houve um grande avanço nesse sentido em se tratando de processos de fabricação. Equipamentos e placas embarcadas para a aquisição de dados e variáveis de processo ganham a cada dia mais mercado, já que proporcionam confiabilidade e precisão.

Atualmente há placas eletrônicas no mercado que auxiliam para a medição de forças de usinagem, porém o alto custo agregado e a complexidade de operação inviabilizam a inserção dessas em meios didáticos. Um exemplo que pode ser citado são as placas da *National Instruments*, que são excelentes quanto a precisão e resposta de aquisição desses dados, mas pelo valor expressivo para adquiri-las, limitam o nicho de mercado para o ambiente fabril.

Diante essa dificuldade de equipamentos didáticos para o ensino de processos de fabricação, este estudo vem com objetivo de implementar um dispositivo que auxilie no aprendizado desse tema, de modo que o usuário consiga ter acesso a medição de esforço de corte de forma simples, utilizando um equipamento de baixo custo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de um sistema simples e de baixo custo de medição de força de corte que pode vir a ser um vetor importante no ensino aprendizagem de processos de fabricação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo didático de baixo custo para medição de força de corte.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Especificar o Extensômetro;
- Especificar e projetar o circuito condicionador de sinal;
- Especificar e projetar o circuito de filtragem do sinal;
- Programar microcontrolador para aquisição de dados;
- Realizar experimento estático na máquina de ensaio;
- Realizar ensaio preliminar em processo de torneamento;
- Analisar dados de ensaios;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 VARIÁVEIS DO PROJETO MECÂNICO

2.1.1 Forças de usinagem em torneamento

Para Trent e Wright (2000) as forças que atuam sobre a ferramenta é um tema importante para a processos de fabricação. A força total resultante que atua sobre a cunha cortante durante a usinagem é chamada de força de usinagem. Desta forma, não se trabalha com a força de usinagem propriamente dita, mas sim com suas componentes em diversas direções conhecidas Diniz *et al.* (2003).

A decomposição das forças descritas aqui faz referência a norma DIN 6584. São conhecidas três forças presentes em um processo de torneamento. Essas forças são mostradas na Figura 1.

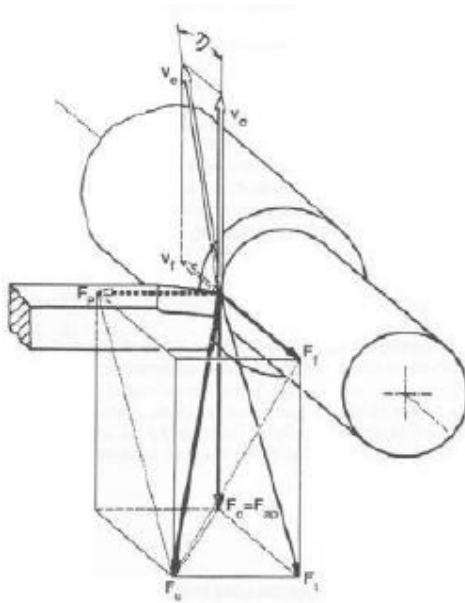


Figura 1 – Direção das componentes da força de usinagem em torneamento.
Fonte: Adaptado FERRARESI (1977 p. 156).

Segundo Diniz *et. al.* (2003), a força ativa (F_u) é a componente que contribui para a potência de usinagem, pois a mesma encontra-se no plano de trabalho onde os movimentos de usinagem são realizados. Esse esforço pode ser decomposto em outras duas forças sendo: Força de corte (F_c) e força de avanço (F_f). Outra força presente na figura é a força passiva (F_p), que é uma componente perpendicular ao plano de trabalho.

Segundo Trent e Wrigth (2000) a força de corte é o principal fator para se estimar a potência de usinagem, o projeto do suporte de fixação da ferramenta e a rigidez da máquina.

Para determinarmos a força de corte (F_c) em um processo de usinagem utilizamos a equação 1:

$$F_c = K_s \times A \quad (1)$$

Onde é K_s representado a pressão específica (N/mm^2) e A sendo a área da secção (mm^2). A Figura 2 exemplifica as variáveis:

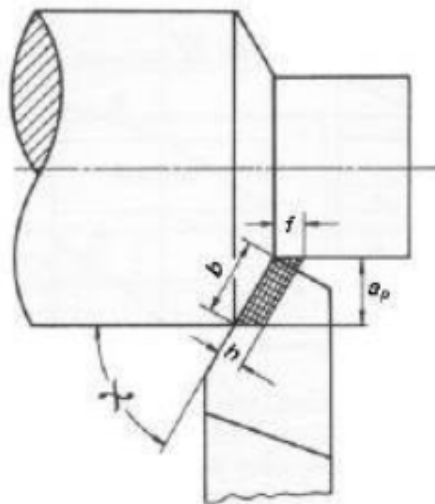


Figura 2 – Determinação da área de contato ferramenta-peça para cálculo de pressão de corte. Fonte: Adaptado FERRARESI (1977 p. 164).

Para torneamento temos a expressão da equação 2:

$$A = b \times h = a_p \times f \quad (2)$$

Onde b é referente ao comprimento de corte e h a espessura de corte, definidos pelas equações 3 e 4.

$$b = \frac{ap}{\text{sen}(\chi r)} \quad (03)$$

$$ap = fx \text{ sen } (\chi r) \quad (04)$$

Em Stemmer (2001), Kienzle propõe uma fórmula simples para cálculo de força de corte, sendo que a mesma está voltada para aplicação prática.

$$F_c = K_{c1.1} \cdot b \cdot h^{1-mc} \quad (05)$$

Sendo que $K_{c1.1}$ e $1-mc$ são parâmetros tabelados fornecidos pelos estudos de Kienzle, exemplificada na Tabela 1.

Material (DIN)	ABNT equivalente	σ_r N/mm ²	$K_{c1.1}$	$1-mc$
St 50	1030/1035	520	1990	0,74
St 60	1040/1045	620	2110	0,83
C 22	1020	500	1800	0,83
Ck 45	1045	670	2220	0,86
Ck 60	1060	770	2130	0,82
16 Mn Cr 5		532	2000	0,84
15 Cr Mo 5		590	2290	0,83
18 Cr Ni 6		630	2260	0,7
34 Cr Mo 4		800	2240	0,79
42 Cr Mo 4		1070	2320	0,84
50 Cr V 4		600	2220	0,74
- recozido		940	1740	0,76
-beneficiado		730	1920	0,76
65 Si 7		960	1270	0,73
100 Cr 6		640	1600	0,71
100 Cr 6 recozido		710	2400	0,79
105 W Cr 6		744	2000	0,71

Tabela 1 – Tabela parâmetros para cálculo de força de corte Kienzle.
Fonte: Adaptado STEMMER (2001 p. 179).

A norma alemã AWF 158, edição 1949, reconhecendo a pequena influência da profundidade de corte, estabeleceu uma tabela de pressões específicas em que, além do material, aparece apenas o avanço como variável. Esses dados podem ser vistos na Tabela 2.

Os dados presentes na norma podem ser utilizados para a equação 06.

$$F_c = K_c \cdot a_p \cdot f \quad (06)$$

MATERIAIS	σ N/mm ² ou dureza	Kc N/mm ² Avanço em mm/rot			
		0,1	0,2	0,4	0,8
ST3411, ST3711, ST4211 (ABNT 1015 a 1025)	até 500	3600	2600	1900	1360
ST5011 (ABNT 1030 a 1035)	500 a 600	4000	2900	2100	1520
STR6011 (ABNT 1030 A 1035)	600 a 700	4200	3000	2200	1560
ST7011 (ABNT 1060)	700 a 850	4400	3150	2300	1640
ST 85 (ABNT 1095)	850 a 1000	4600	3300	2400	1720
ST 85 (ABNT 1095)	300 a 350	3200	2300	1700	1240
Aço Fundido	500 a 700	3600	2600	1900	1360
Aço Fundido	>700	3900	2850	2050	1500
Aço Fundido	700 a 850	4700	3400	2450	1760
Aço Mn, aços Cr-Ni, aços Cr-Mo e outras ligas	850 a 1000	5000	3600	2600	1850
Aço Mn, aços Cr-Ni, aços Cr-Mo e outras ligas	1000 a 1400	5300	3800	2750	2000
Aço Mn, aços Cr-Ni, aços Cr-Mo e outras ligas	1400 a 1800	5700	4100	3000	2150
Aço inoxidável	600 a 700	5200	3750	2700	1920
Aço ferramenta	1500 a 1800	5700	4100	3000	2150
Aço Manganês-duro	-	6600	4800	2500	2520

Tabela 2 – Tabela parâmetros para cálculo de força de corte norma alemã AWF 158.
Fonte: Adaptado STEMMER (2001 p. 179).

2.1.2 Geometria cunha de corte

A cunha de corte é a parte da ferramenta na qual origina-se o cavaco. As arestas que limitam as áreas de corte são denominadas arestas de corte. A geometria da cunha de corte pode ser seguida a partir da NBR-6163.

Diniz *et. al.* (2003) descreve as principais partes construtivas de uma ferramenta a seguir.

- **Superfícies de Saída (A_y):** É a superfície da cunha na qual forma-se o cavaco, e no qual o mesmo esco a sua saída da região do trabalho de usinagem. Exposto na Figura 3 e 4.

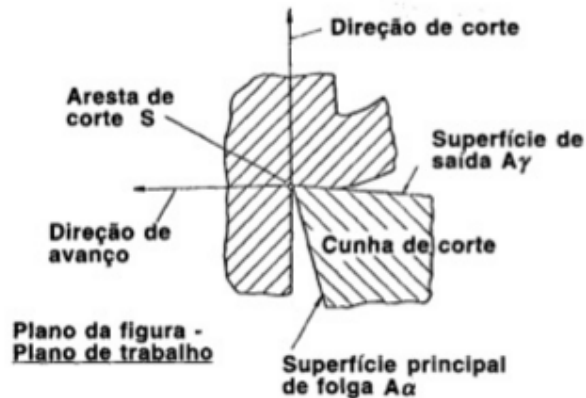


Figura 3 – Cunha de corte da ferramenta de torneamento.
Fonte: Diniz *et. al.* (2003 p. 32).

- **Superfície Principal de Folga (A_α):** É a superfície da cunha de corte da ferramenta que contém sua aresta principal de corte e que defronta com a superfície em usinagem principal.
- **Superfície Secundária de Folga ($A'\alpha$):** É a superfície da cunha de corte da ferramenta que contém sua aresta de corte secundária e que defronta com a superfície em usinagem secundária.
- **Aresta Principal de Corte (S):** É a aresta da cunha de corte formada pela intersecção das superfícies de saída e de folga principal.
- **Aresta Secundária de Corte (S'):** É a aresta da cunha de corte formada pela intersecção das superfícies de saída e de folga secundária.
- **Ponta de Corte:** É a parte da cunha de corte onde se encontram as arestas principal e secundária de corte.

Na Figura 4 podemos verificar os mesmos:

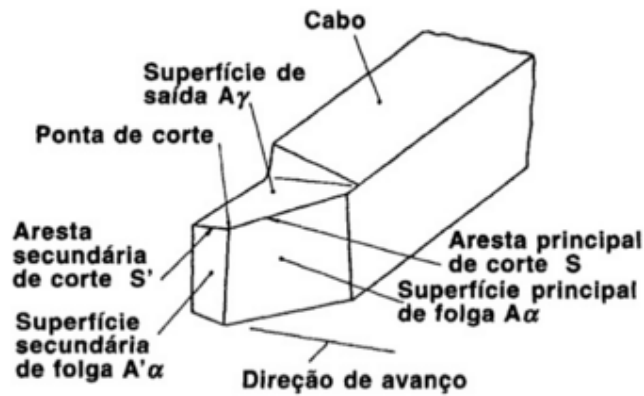


Figura 4 – Arestas de corte e superfícies da parte de corte de uma ferramenta de torneamento.
Fonte: Diniz *et. al.* (2003 p. 32).

2.1.3 Tensão X Deformação

A força por uma unidade de área ou a intensidade das forças distribuídas numa certa secção transversal é chamada de tensão, e é indicada pela letra (σ). A tensão então é obtida através de uma secção transversal A dividindo-se o módulo de força P, exemplificado na equação 7 a seguir. (BEER; JOHNSTON; DEWOLF, 2011)

$$\sigma = P/A \quad (7)$$

Onde:

- σ , é a tensão (Mpa)
- P, é a força atuante (N)
- A, é a área (m²)

A partir da conhecida Lei de Hooke, que se deve ao matemático inglês Robert Hooke (1635-1703), temos uma equação na qual o valor de tensão (σ) no qual a peça será exposta é a resultante da multiplicação entre o módulo de elasticidade (E), conhecido também como módulo de Young, e a deformação específica, exposta na equação 8.

(8)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Onde:

- σ , é a tensão (Mpa)
- E , é o módulo de elasticidade (adimensional)
- ε , é a deformação específica (adimensional)

Assim, a lei de Hooke estabelece uma relação linear entre a tensão e a deformação, linearidade que não se mantém à medida em que a deformação atinge altos valores. Em um diagrama tensão-deformação típico, a lei de Hooke só é válida na região elástica de tensão, na qual o carregamento é reversível. Acima do limite elástico, o material começa a se comportar irreversivelmente na região denominada de deformação plástica, onde a lei de Hooke não mais se aplica.

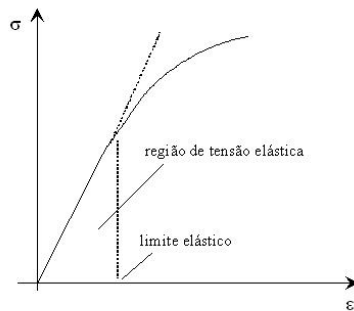


Figura 05 – Deformação X tensão, lei de Hooke.
Fonte: Higdon (1976, p. 220).

2.1.4 Cisalhamento

Segundo Hibbeler (2010) Deformação por cisalhamento é a mudança que ocorre no ângulo entre dois segmentos de reta que originalmente eram perpendiculares um ao outro. Esta deformação é gerada através de duas forças atuantes em sentidos opostos, não sendo necessariamente com intensidades iguais, no material analisado, chamada também de tensão de cisalhamento.

Segundo (BEER; JOHNSTON, 2011), para vigas com secções retangulares, submetidas a um carregamento distribuído ou concentrado, a tensão de cisalhamento média é medida da seguinte maneira:

$$\tau_{méd} = \frac{VQ}{It} \quad (9)$$

Onde:

- $\tau_{méd}$, é a deformação de cisalhamento média
- V , é a força de cisalhamento interna resultante, determinada pelo método das secções e pelas equações de equilíbrio.
- I , é o Momento de Inércia
- T , é a largura da área da secção transversal

A tensão de cisalhamento para uma secção transversal retangular é vista na Figura 6.

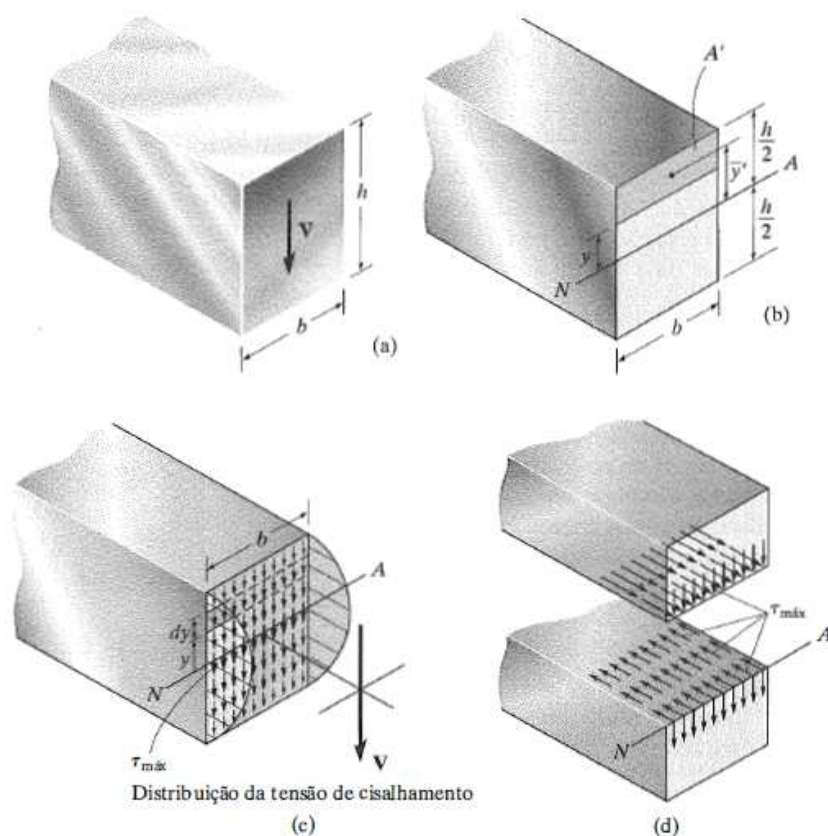


Figura 6 – Tensão de Cisalhamento.
 Fonte: Hibbeler (2010 p. 265).

Para Hibbeler (2010) a distribuição de tensão de cisalhamento em uma seção transversal retangular é parabólica, de modo que a tensão de cisalhamento máxima ocorre ao longo do eixo neutro. Vemos na Figura 6 que na distribuição dessa tensão $y = \pm h/2$, até um valor máximo no eixo neutro, $y = 0$. A área da seção transversal é dada $A = bxh$, sendo que a equação 9 tem que cisalhamento é a razão de V (Força) por A (Área) multiplicado pela constante 1,5.

$$\tau_{\text{máx}} = 1,5 \frac{V}{A} \quad (10)$$

2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO E INTERFACE

2.2.1 Extensômetros Elétricos

Um Extensômetro consiste num dispositivo (transdutor) que serve para medir a deformação de um corpo através da variação de resistência elétrica. É constituído por uma fita (ou lâmina) metálica com área total de superfície típica entre 2 e 10mm², arranjada em um padrão alternado, e colada sobre um suporte elástico isolante, chamado de base. A base, geralmente feita de um polímero, é, por sua vez, colada ao corpo o qual se deseja medir a deformação e a força aplicada, chamado de corpo de prova. Um diagrama esquemático de um extensômetro de fita metálica, contendo fita metálica, base, e terminais para conexão elétrica com o circuito de excitação e condicionamento de sinal é mostrado na Figura 7.

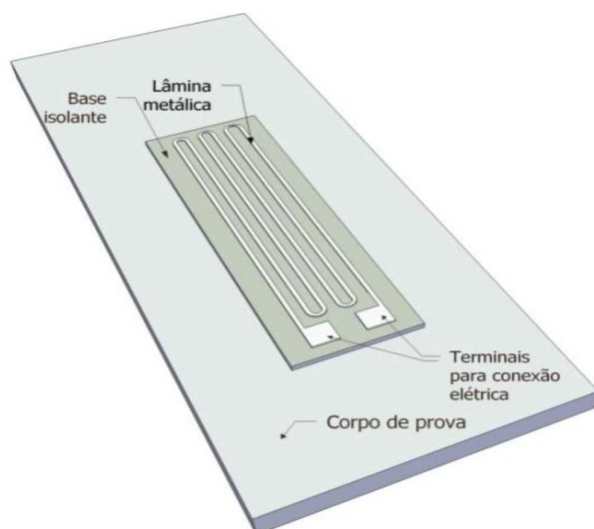


Figura 7 – Diagrama esquemático de um extensômetro de fita metálica, colado sobre um corpo de prova.

Fonte: Pallas e Webster (2001, p. 80).

Os extensômetros metálicos são largamente utilizados na engenharia de instrumentação, especialmente na realização de ensaios não destrutivos para medidas de tensões. Dentre as características desejáveis dos extensômetros metálicos, destacam-se elevada precisão das medições, excelente linearidade do

sinal de saída, tamanho compacto, e fácil aplicação sobre uma grande variedade de superfícies.

O princípio físico de operação dos extensômetros elétricos resistivos é a variação de resistência elétrica do condutor (lâmina metálica) quando o mesmo sofre uma variação dimensional (PALLAS; WEBSTER, 2001). A resistência elétrica da lâmina metálica do extensômetro é proporcional à resistividade do metal, e seu comprimento, e inversamente proporcional à sua área de seção transversal, conforme equação 11.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (11)$$

2.2.2 Sistema de Medição

As deformações que ocorrem na peça são medidas pelo extensômetro, porém as leituras não saem em forma de gráficos, tabelas ou relatórios. É necessária a utilização de um sistema que transforme a deformação sentida pelo extensômetro em informações concretas. Além disso, essas deformações medidas são normalmente pequenas, produzindo variações no sinal elétrico nas mesmas proporções, não podendo ser lidas diretamente por um osciloscópio ou um multímetro. Esse processo da verificação do fenômeno da deformação até a informação dos dados legíveis é feito por um sistema de medição.

Os sistemas de medição são ferramentas capazes de quantificar fenômenos da natureza. Existem sistemas para avaliação de temperatura, de esforços, escoamento de fluidos, composições químicas, entre outras.

Na análise de tensões por extensometria, o sistema de medição é formado basicamente de sensores de deformação, o extensômetro de resistência variável, que converte deformação mecânica em variação da resistência elétrica. Estes extensômetros são montados em um circuito elétrico, a ponte de *Wheatstone*, que é capaz de realizar a medição de variação de resistências elétricas em seus braços do circuito. A ponte de *Wheatstone* pode ser montada de diversas formas ($\frac{1}{4}$ de ponte, $\frac{1}{2}$ ponte, ponte completa e $\frac{1}{2}$ ponte diagonal) dependendo do número de extensômetro utilizados. O circuito é alimentado por uma corrente elétrica, através de uma fonte de energia. A variação da resistência elétrica do extensômetro, devido à deformação ocorrida na peça, provoca um desequilíbrio na ponte. Ocorre uma variação de tensão de saída da ponte, devido ao reequilíbrio da ponte. (UFSC – APOSTILA EXTENSOMETRIA, 2014)

A Figura 8 apresenta uma ponte de *Wheatstone*.

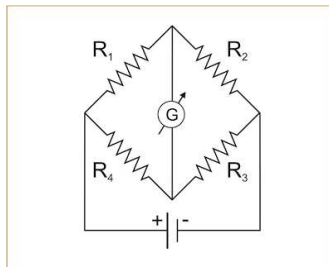


Figura 8 – Ponte de *Wheatstone*.
Fonte: Adaptado de E física (2007).

Considerando agora que, por exemplo, R_4 assume o valor correspondente ao de um *strain gage* fixo em um corpo de prova, e que inicialmente tenha valor igual aos demais resistores, a partir do instante em que houver variação de resistência elétrica nesse componente, haverá uma pequena diferença de potencial elétrico que poderá ser vista sobre o galvanômetro indicado na Figura 8.

Assumindo que um *strain gage*, o qual faça parte de um circuito de uma Ponte de *Wheatstone*, esteja fixado em uma ferramenta, e que esta receba um carregamento externo, em dois terminais da Ponte poderá ser vista uma pequena diferença de potencial elétrico da ordem de poucos mV. Com um sinal tão baixo e sobreposto por ruídos de altas frequências resultantes de interferências eletromagnéticas do próprio ambiente não seria possível desenvolver um experimento, então se faz necessário que seja filtrado e amplificado este sinal para um valor acessível aos conversores comerciais. Para esta operação se tem como artifício o uso de filtros passa baixas e amplificadores operacionais respectivamente (LIRA, 2012).

O filtro passa baixas permite que os sinais com frequência abaixo de uma frequência determinada passem para saída, eliminando todos os sinais com frequências superiores. Existe vários tipos e ordens de filtros, porém para este trabalho será utilizado um filtro passivo de primeira ordem representado pela Figura 9.

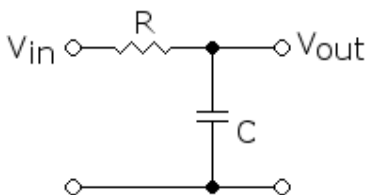


Figura 9 – Diagrama filtro passa baixas.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999, p.553).

A frequência de corte do filtro é dada pela equação 12.

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (12)$$

2.2.3 Amplificador Operacional

O amplificador operacional é um circuito integrado que realiza operações matemáticas entre as tensões nas suas entradas, uma inversora e outra não inversora, fornecendo um resultado na sua saída (PESQUEIRA, 2008). Com isso os amplificadores operacionais são componentes básicos de computadores, além de serem utilizados em outras aplicações, como instrumentação industrial, sistemas de controle, equipamentos de telecomunicação.

De modo genérico, um amplificador operacional pode ser representado como na Figura 10.

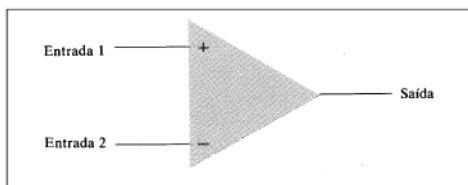


Figura 10 – Amplificador Operacional.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999, p.428).

Inúmeras são as aplicações para amplificadores operacionais. Vão desde o simples ganho proporcional até o cálculo relativamente complexo de uma integral, o que irá mudar é a forma de montagem escolhida pelo usuário. Para este trabalho a

configuração do amplificador se restringirá aos modelos: amplificador inversor, amplificador não-inversor e amplificador subtrator.

O amplificador subtrator, representado pela Figura 11, pode ser montado a partir do circuito integrado comercialmente denominado por 741. Uma característica fundamental dessa configuração de montagem para uso em amplificador é o fato de poder eliminar interferências ou ruídos presentes nos sinais muito baixos. Isso ocorre devido ao fato de haver um resistor entre sua entrada não inversora e terminal negativo do circuito elétrico, dessa forma qualquer interferência no sinal irá incidir sobre as duas fases de entrada, sendo assim a diferença entre elas permanecerá nula (BOYLESTAD; NASHELSKY, 1999).

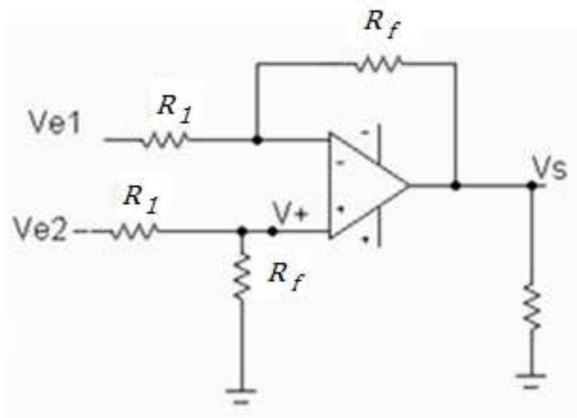


Figura 11 – Amplificador subtrator.
Fonte: Adaptado de Pesqueira (2008).

O ganho desse amplificador está na relação entre os resistores R_f/R_1 , e tem a direção do sinal invertida (PESQUEIRA, 2008).

O amplificador inversor, representado pela Figura 12, tem o ganho proporcional à relação entre $-(R_f/R_1)$ e, como o próprio nome diz, tem a direção do sinal invertida (BOYLESTAD; NASHELSKY, 1999).

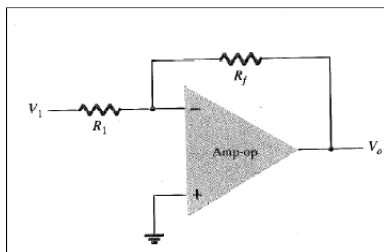


Figura 12 – Amplificador Inversor.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999, p.433).

Segundo Boylestad e Nashelsky (1999), o amplificador não-inversor, representado pela Figura 13, tem como ganho o resultado da equação 13.

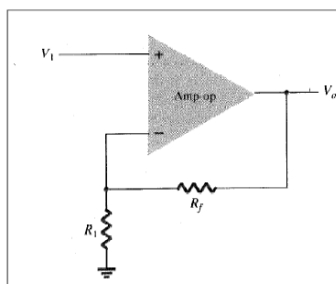


Figura 13 – Amplificador Não Inversor.
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999, p.435).

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot V_i \quad (13)$$

Onde:

- V_o é a tensão de saída;
- V_i é a tensão de entrada;
- R_f e R_1 são as resistências conforme indicado na Figura 13;

2.2.4 Sistema Aquisição de Dados

A aquisição de dados e a manipulação dos mesmos como meio de interface para o usuário serão feitas inicialmente por um sistema microcontrolador, pois além de ser prático e didático, tem um custo relativamente baixo. O microcontrolador é basicamente um microprocessador com recursos para realizar o controle como

memória interna e periférico de entrada/saída. Por causa do seu tamanho, custo e consumo de energia, os microcontroladores são bastante utilizados na automação de processos (SOUZA, 2005). Um exemplo de microcontrolador bastante utilizado em projetos de automação é o Arduino.

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica criado com o objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistemas interativos, de baixo custo e acessível a todos. Além disso, todo material (*software*, bibliotecas, *hardware*) é *open-source*, ou seja, pode ser reproduzido e usado por todos sem a necessidade de pagamento de direitos autorais. Sua plataforma é composta essencialmente de duas partes: O *Hardware* e o *Software*. (UFES, 2014).

Na Figura 14 é exemplificada a configuração do Arduino Mega 2560.

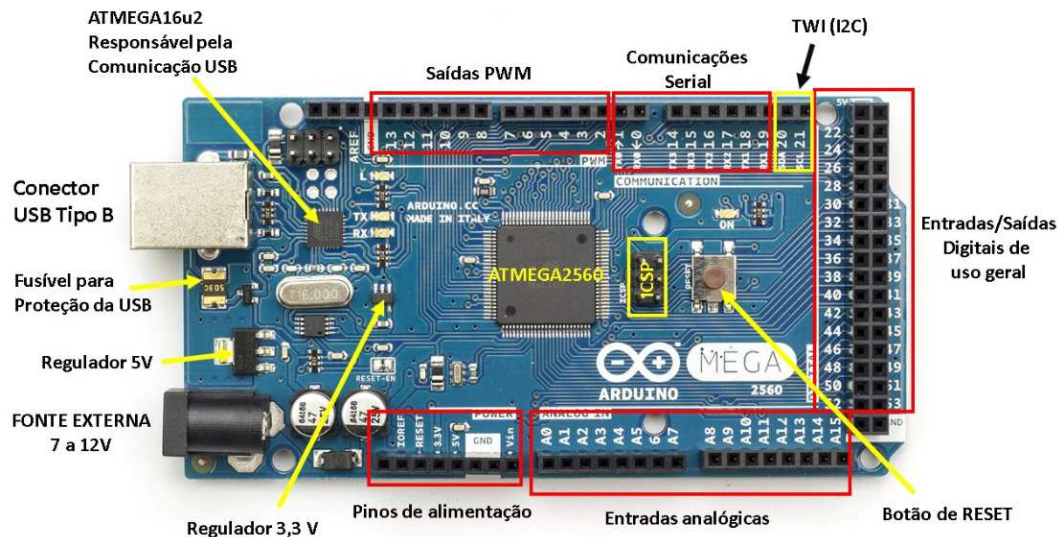


Figura 14 – Arduino Mega 2560.
Fonte: Adaptado Arduino cc (2015).

A comunicação série permite ao Arduino a comunicação com o computador ou com outros dispositivos. As placas Arduino são constituídas pelo menos por uma porta série, esta, denomina-se por UART serie. A comunicação ocorre através dos pinos digitais 0 (RX) e 1 (TX), assim como uma comunicação USB.

3 METODOLOGIA

Para viabilização da proposta de monitoramento do esforço de corte, foram realizados os seguintes procedimentos descritos na Figura 15.

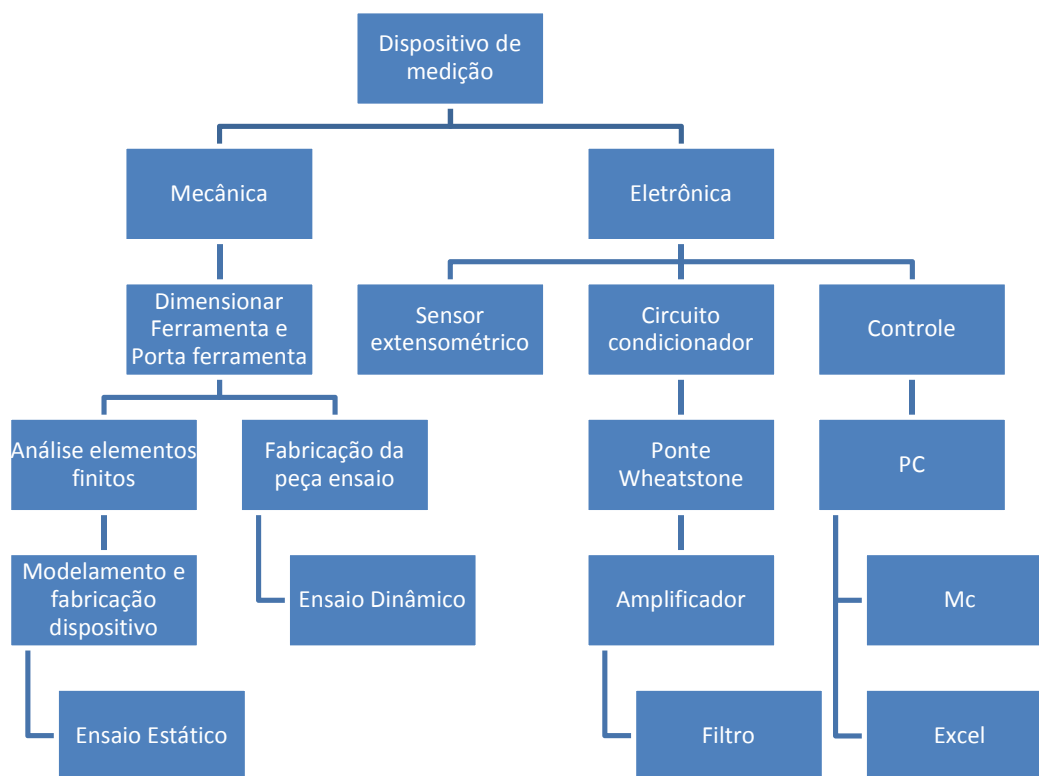


Figura 15 – Diagrama em Blocos Macro do Projeto.
Fonte: Autoria própria.

Inicialmente dividiu-se em duas áreas: mecânica e eletrônica. A mecânica tem início com o dimensionamento da ferramenta a qual foi fundamental para o projeto, pois a partir da limitação da geometria da mesma, possibilitou-se a análise do ponto atuante da força. Desenvolveu-se também o dispositivo para ensaio estático a partir da análise de força e a peça de ensaio para o teste preliminar no torno.

Finalizado a análise e fabricação mecânica, tem-se início a eletrônica com a especificação do extensômetro e a colagem do mesmo na ferramenta. Para medição do sinal gerado pela deformação desse transdutor foi utilizado a ponte de *Wheatstone*.

A partir da tensão adquirida então, se fez necessário à amplificação e filtragem do sinal. A amplificação foi realizada com circuitos compostos de amplificadores operacionais, de modo que a incerteza do sinal medido seja baixa. A filtragem

realizou-se através do filtro passa baixa de primeira ordem após o circuito amplificador.

O sinal gerado na saída do filtro é transmitido para uma entrada analógica do microcontrolador. O mesmo executa a etapa de controle através de uma rotina que converte o sinal de entrada em dados analíticos para interpretação do esforço medido na ferramenta. Os dados adquiridos são visualizados no excel através da porta serial do computador.

Para este projeto será utilizado o Arduino Mega 2560 devido sua fácil interação com algumas funções já prontas, o baixo custo e por já ter sido tratado no curso em projetos integradores.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

4.1 ESCOLHA DO PORTA FERRAMENTA

Visando a aproximação dos testes estáticos realizados do valor real de deformação de uma ferramenta no processo apresentado, teve-se como primeiro passo escolher o porta ferramenta mais adequado. Primeiramente analisou-se o porta ferramentas para pastilha de metal duro, porém o mesmo não atendeu nossa necessidade, já que a força de corte atua descolada do centro do conjunto, gerando outros esforços.

Após isso tomou-se como base o porta bits. Nele a ferramenta foi presa na parte central do conjunto, o que possibilitou isolar a força de corte nos dois ensaios realizados para o estudo proposto. Porta ferramenta para um bit de 3/8".

A ferramenta utilizada foi de aço-rápido, fabricado em aço HSS-M2 com 10% de cobalto, que segue os padrões da norma DIN 4964, com tolerância H13 e dureza de 63 a 67RC. Secção quadrada de 3/8" e comprimento de 200mm.

4.2 MODELAGEM 3D SISTEMA MECÂNICO

Tendo em vista a funcionalidade do sistema, foi desenvolvido um dispositivo que prendesse corretamente a ferramenta na máquina de ensaios, de modo que aplicando uma carga na ponta da ferramenta, teria um resultado de deformação da mesma no ponto analisado.

Em auxílio ao estudo para chegar no modelo do dispositivo, foi utilizado software de CAD (*Computer Aided Design*) e CAE (*Computer Aided Engineering*), nesse caso o Inventor da Autodesk, ambiente onde se consegue uma imagem exata do projeto mecânico. Com ele foram realizados testes com a ferramenta de CAE obtendo informações onde seria o melhor ponto para a análise de deformação.

A partir dos dados obtidos do estudo, verificou-se que o ponto onde ocasionaria a maior deformação, seria nas partes mais próximas do ponto fixo da ferramenta com o porta bit.

Foi simulado diferentes comprimentos de ferramentas no estudo, e se concluiu que a deformação dos pontos próximos as partes fixas aumentavam, quanto maior o comprimento da ferramenta. Foi adotado então uma ferramenta de 200mm de aço rápido, para a análise do teste estático. A Figura 16 mostra estudo realizado.

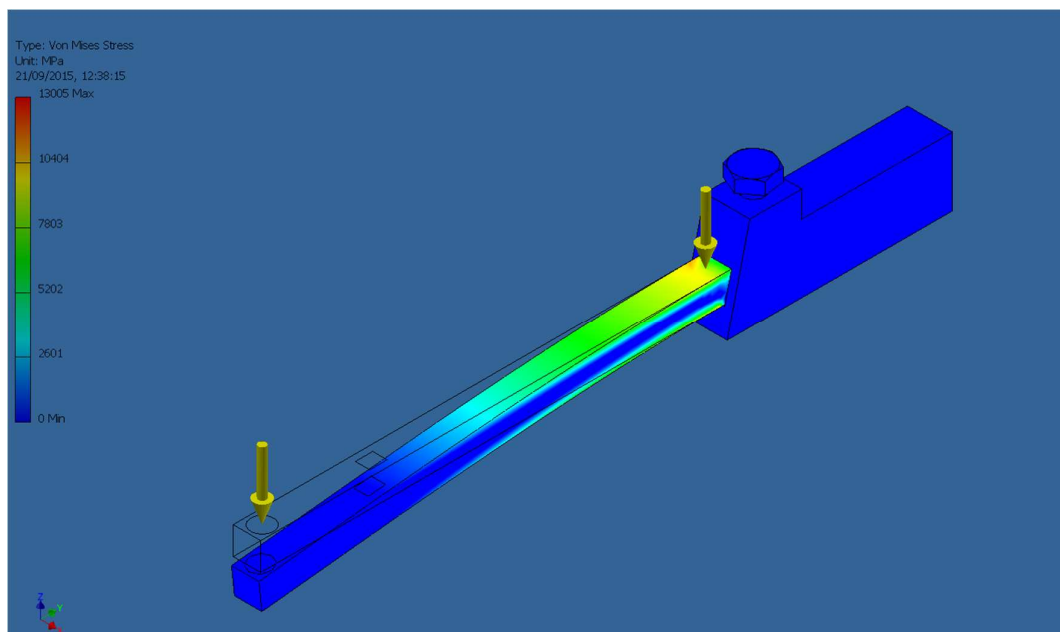


Figura 16 - Análise Elementos Finitos em Inventor.
Fonte: Autoria Própria.

Para realização de teste estático na máquina de ensaios disponível, foi necessário a criação de um dispositivo que fosse capaz de prender o porta ferramentas de modo a permitir com que a carga aplicada na ponta do bit, fornecesse a deformação analisada para o estudo.

Este dispositivo foi desenvolvido e simulado na plataforma CAD Inventor e está demonstrado na Figura 17.

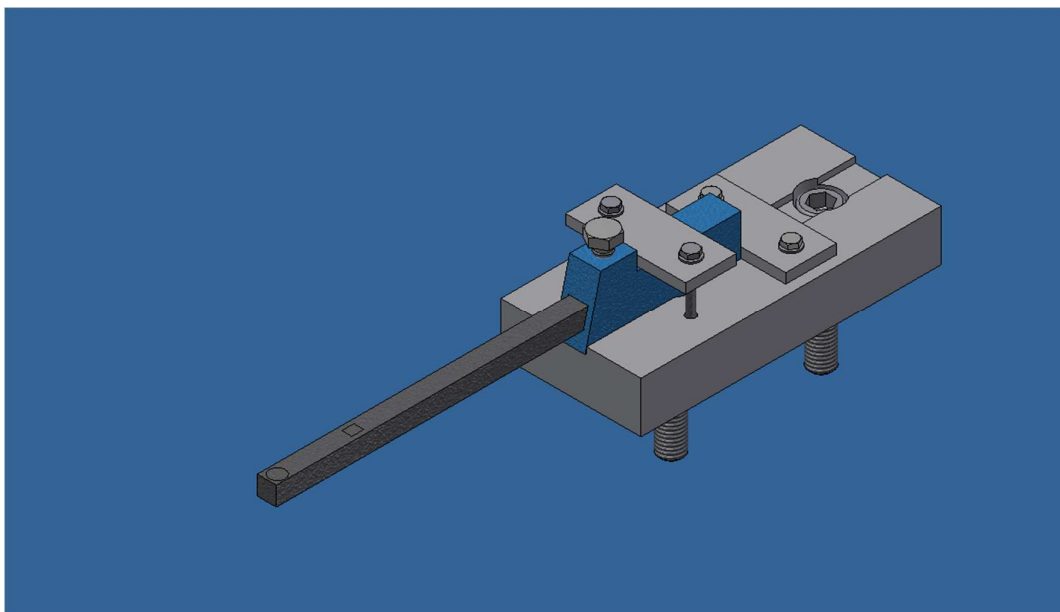


Figura 17 - Modelo 3D dispositivo em CAD (Inventor).
Fonte: Autoria Própria.

4.3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA

Tendo em vista a força de corte, existente em um processo de usinagem, podemos montar a equação para o cálculo de deformação teórico da ferramenta.

Isolando a força de corte, temos a seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \left(\frac{-P}{A} + \frac{M.c}{I} \right) \quad (14)$$

Onde:

- ε é a deformação específica;
- E é o módulo de elasticidade;
- P é a força atuante ;
- A é a área da secção;
- M é o momento;
- c é o centróide;
- I é o momento de inércia;

A equação 14 representa a deformação específica da ferramenta, onde com essa foi possível verificar validade de dados adquiridos em ensaio estático.

Outro parâmetro a ser levado em consideração é o *Gage Factor* (GF ou K), que indica a sensibilidade do strain gage conforme a equação 15 (COSTA, 2005). O *gage factor* é fornecido pelo fabricante.

$$k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} \quad (15)$$

A variação da resistência elétrica ($\Delta R/R$) é correlacionada linearmente com a força aplicada no sensor, segundo a equação 16, onde o E_y é o modulo Young do material.

$$F = \frac{E_y \times A}{k} \times \frac{\Delta R}{R} \quad (16)$$

Devido às pequenas variações de resistência elétrica do extensômetro que acompanham suas mudanças dimensionais (usualmente entre 0,1 Ω e 1 Ω), medidas diretas de variações de resistência elétrica do extensômetro não são práticas. Aplicando a ponte de wheatstone para aquisição dessa variação, tem-se que a tensão de saída da ponte (E_o) pode ser expressa como:

$$E_o = \left(\frac{1}{2} - \frac{R_2}{R_2 + \left(\frac{R_4 \times R_5}{R_4 + R_5} \right) + ST1} \right) \times E \quad (17)$$

A expressão que relaciona a tensão de saída da ponte com a deformação que o extensômetro é submetido é:

$$E_o = \frac{E \times k}{2} \times \varepsilon \quad (18)$$

A partir da definição de tensão mecânica e a relação entre tensão e deformação, permite expressar a tensão de saída da ponte em termos de um conjunto de parâmetros constantes para o arranjo experimental (k , E_y e A) e a força aplicada ao medidor de força:

$$E_o = \frac{E \times k}{2 \times E_y \times A} \times F \quad (19)$$

4.4 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA MECÂNICO

Para usinagem das peças utilizadas no dispositivo, se fez necessário utilização de processos de usinagem como fresamento, corte à laser, retificação e torneamento. Para uma maior precisão e confiabilidade, foram utilizadas máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado), tendo assim uma tolerância aceitável e melhor acabamento superficial.

A retificação do local onde foi colado o *strain gage*, foi indispensável, pois a rugosidade da face onde se assentaria o componente eletrônico teria de ser totalmente plana e livre de ações como oxidação.

4.5 MONTAGEM DO DISPOSITIVO

Depois de realizado a análise de elementos finitos, verificou-se onde seria o maior ponto de concentração de tensão na ferramenta, para ensaio estático. Foi possível identificar o correto local onde seria indicado colar o *strain gage*. Para tanto é procedimento fundamental a preparação da superfície onde o mesmo foi colado.

Segundo Andolfato, Camacho e Brito (2004) há alguns aspectos importantes a serem levados em conta no procedimento de colagem do extensômetro como:

- A fidelidade das leituras efetuadas com extensômetros estão intimamente relacionadas com a perfeita aderência deste sobre a superfície em estudo.
- Imperfeições ocorridas durante a fixação do extensômetro irá, posteriormente, gerar interpretações errôneas quanto as reais deformações ocorridas em uma determinada região.
- O *strain Gage* é um componente sensível, sendo que a manipulação do mesmo requer procedimentos especiais.

Os materiais utilizados para a colagem foram os seguintes:

- Escova de cerdas metálicas para aço;
- Lixas de Granulometria fina e grossa;
- Algodão;
- Toalha de papel;
- Álcool isopropílico;
- Pinça de ponta reta ou com ângulo;
- Luvas cirúrgicas;
- Adesivo a base de cianoacrilato;
- Fita adesiva transparente;
- Fita isolante.

4.5.1 Preparação da Superfície e Fixação do *strain gage*

Preparar a superfície é o procedimento fundamental para que possa ser colado o *strain gage* na peça. A superfície deve estar totalmente limpa, livre de umidade, óleos e gorduras, eles inibem a união entre a peça e o *strain gage*.

Segundo Andolfato, Camacho e Brito, (2004) são efetuados 9 passos para a colagem de um extensômetro, sendo esses:

- Passo 1:** De maneira a se obter bons resultados na colagem do extensômetro, deve se remover ferrugem, tintas e rebarbas do corpo de prova utilizando uma micro retífica ou lixa.
- Passo 2:** Com a área de colagem limpa e regularizada, proceder com a leve escariação do lugar onde o componente será colado.
- Passo 3:** Realizar as marcações riscando com a ponta metálica os eixos de posicionamento do *Strain gage* no lugar de colagem do corpo de prova.
- Passo 4:** Escovar as rebarbas e restos de materiais estranhos da superfície. Remover óleos, graxas e gorduras com um absorvente limpo de algodão ou gaze usando um solvente adequado.
- Passo 5:** Proceder com o posicionamento dos extensômetros. Usualmente são utilizadas fitas adesivas que são presas na extremidade da base do mesmo que não contém terminais.
- Passo 6:** Esparramar a cola no local de colagem do corpo de prova e na face inferior do extensômetro. Com pinças, descer o mesmo na sua posição final, verificando as marcações.
- Passo 7:** Colocar um filme plástico antiaderente sobre a área colada.
- Passo 8:** Posicionar as pinças de mola para que seja fornecida a correta pressão definida pelo fabricante da cola.
- Passo 9:** Manter o local na temperatura e tempo indicados pelo fabricante.

Esse foi o procedimento seguido para a fixação do *Strain gage* na ferramenta, de modo que não foi utilizado a cola do fabricante, mas sim outro adesivo a base de cianoacrilato.

4.6 ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

Para a realização deste trabalho foram utilizados componentes comerciais de baixo custo. A relação dos materiais utilizados encontra-se no ANEXO A.

O sistema tem início a partir de um circuito fonte, que tem a finalidade de suprir a necessidade de energia do circuito amplificador e da ponte de *Wheatstone*. Foram

utilizadas duas fontes chaveadas comerciais da Henry equipamentos de 14,5 Volts cada e com capacidade de corrente superior a 4A, ligadas de forma simétrica.

Foi utilizado como sensor, um *strain gage* colável de resistência elétrica 350Ω no formato unidirecional duplo com base de *epoxy* com filme metálico de constantan. O fator de sensibilidade fornecido pelo fornecedor é 2,1.

O *strain gage* foi fixado na ferramenta e os seus dois contatos elétricos foram ligados ao circuito condicionador de sinal, mais especificamente na ponte de *Wheatstone*.

A ponte de *Wheatstone* por sua vez é alimentada através do circuito regulador, o qual foi utilizado o regulador LM7812 com o objetivo de fornecer uma tensão de 12V. Foram utilizados resistores com uma tolerância de 1% devido à alta sensibilidade da ponte. Para equilíbrio da mesma foi montado $R4 // R5$, sendo que R5 é um trimpot multivolta e estando paralelo ao resistor R4, consegue-se uma maior precisão.

Para alcançar os valores de resistências mostrado na Figura 18, foi feita uma combinação de resistores e estes foram medidos utilizando um multímetro da Minipa, modelo ET-2940, com uma precisão de 0,02%.

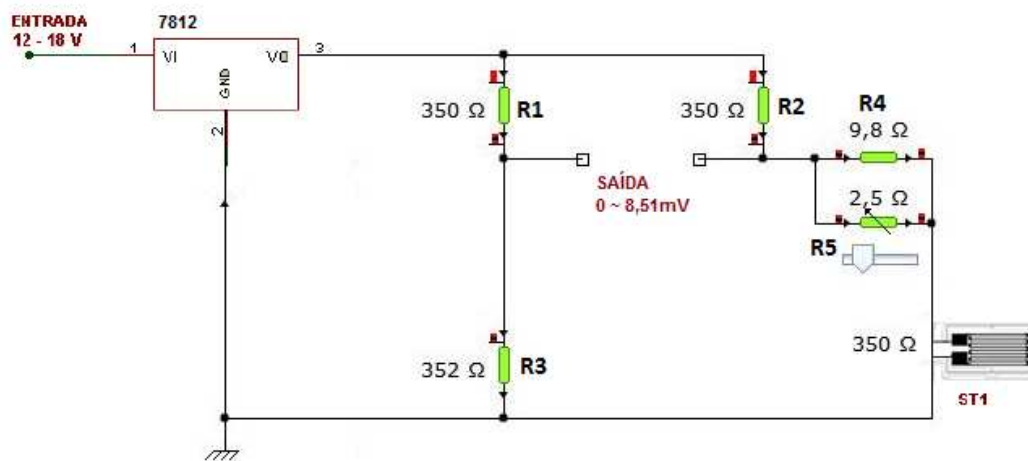


Figura 18 – Circuito medidor de sinal
Fonte: Autoria Própria

Com a ponte de *Wheatstone* alimentada e tendo seus resistores balanceados juntamente com o *strain gage*, o sinal de saída da ponte é conduzido para o circuito amplificador.

O circuito amplificador é constituído por amplificadores operacionais dispostos na configuração de instrumentação e na sequência um amplificador na configuração

de não inversor conforme na Figura 19, sendo o primeiro responsável para amplificar em baixa escala a diferença de tensão de desequilíbrio da ponte e ter características importantes como elevada impedância de entrada e elevada rejeição a sinais de modo comum, e o segundo para amplificar em proporções maiores o sinal saída do amplificador de instrumentação. Foi utilizado um circuito integrado que contém quatro amplificadores para o desenvolvimento citado acima – TL084CN.

O projeto do amplificador de instrumentação foi feito para obter um ganho de 11 devido a relação $V_o = V_d \times (1 + \frac{2 \times R_2}{R_1})$ e o não inversor uma razão de 39k/1k entre R_f/R_1 .

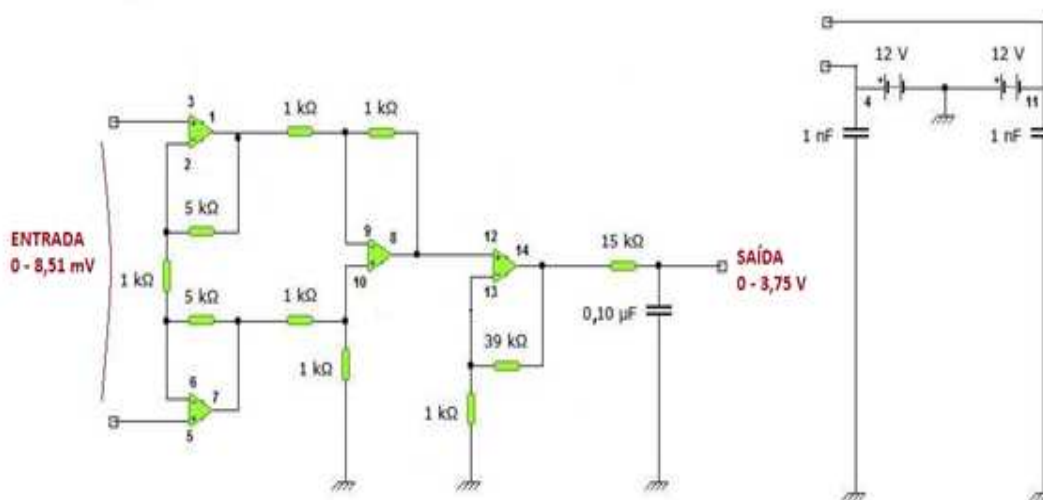


Figura 19 – Circuito de amplificação do sinal.
Fonte: Autoria Própria.

Foi optado por esse ganho do circuito amplificador, para alcançar o valor real medido na saída de 3,3V do próprio Arduino que possui um erro em torno de 10%. Fez necessário para isso a ligação do pino de 3,3 V no pino Aref, mostrado na Figura 20.

Na saída do circuito amplificador de tensão acrescentou-se um filtro passa baixa com frequência de corte de 100 Hz. Após o filtro foi obtida uma variação de tensão elétrica de 0 a 3,75V, ou seja, para a ferramenta livre de carga, a saída corresponde a 0V, e com carga total, a saída corresponde a 3,75V. Este sinal foi levado para uma entrada analógica do arduino, com o intuito de converter esse sinal

analógico para digital. Os valores obtidos da aquisição de dados são tratados via software e visualizados a partir do excel através do software PLX – DAQ.

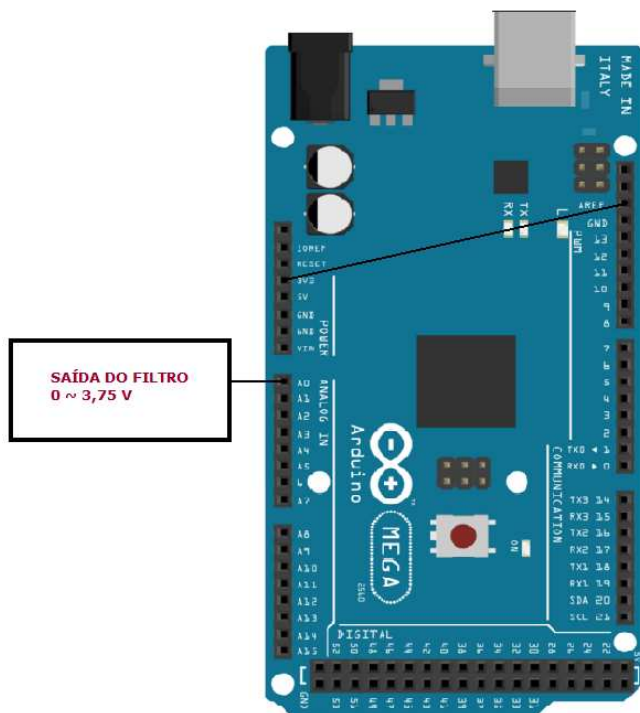
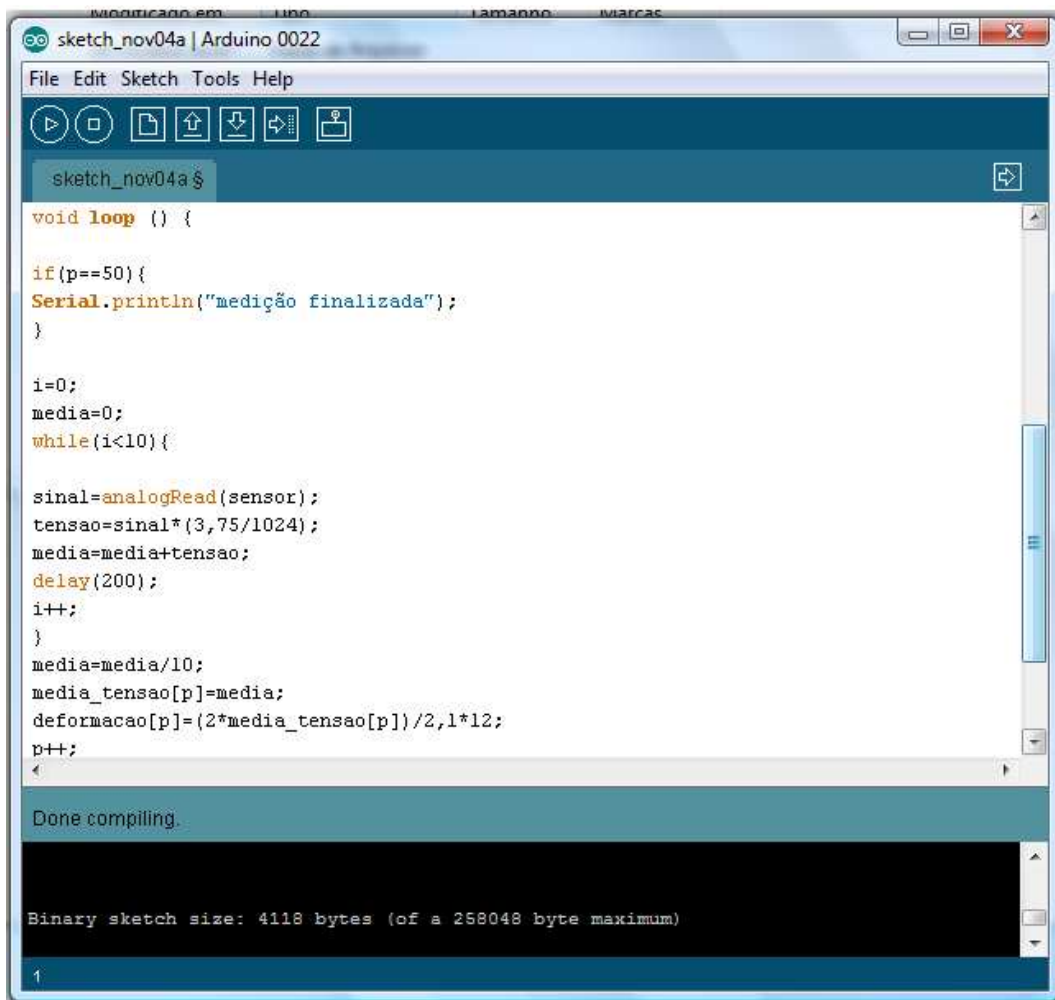


Figura 20 – Circuito de ligação do Arduino.
Fonte: Adaptado Arduino cc.

4.7 PROGRAMAÇÃO ARDUÍNO

O Arduino é acompanhado de um ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment* ou *IDE*). Trata-se de um aplicativo de *software*, que permite a edição do programa em linguagem C, a sua compilação para o microcontrolador, e através das interfaces de comunicação entre o computador e o Arduino, a realização de testes.

A Figura 21 exemplifica o ambiente de desenvolvimento e parte do *software* utilizado.



```
void loop () {  
  
  if(p==50){  
    Serial.println("medição finalizada");  
  }  
  
  i=0;  
  media=0;  
  while(i<10){  
  
    sinal=analogRead(sensor);  
    tensao=sinal*(3,75/1024);  
    media=media+tensao;  
    delay(200);  
    i++;  
  }  
  media=media/10;  
  media_tensao[p]=media;  
  deformacao[p]=(2*media_tensao[p])/2,1*12;  
  p++;  
}
```

Done compiling.

Binary sketch size: 4118 bytes (of a 258048 byte maximum)

Figura 21 – Programação no IDE do arduino.
Fonte: Autoria Própria.

Para obter uma curva de referência entre V/ϵ , inicialmente, o arduino foi programado para mostrar via excel a tensão de saída do circuito (0 – 3,75 V) devido ao esforço a ser aplicado. A cada 0,2 segundos é feito uma leitura e quando finalizada 10 medidas, o software tira a média e dispõe o dado. Esse ciclo reinicia após 5s novamente e tem uma repetibilidade definida pelo usuário no início do ensaio. A Figura 22 apresenta o fluxograma da programação.

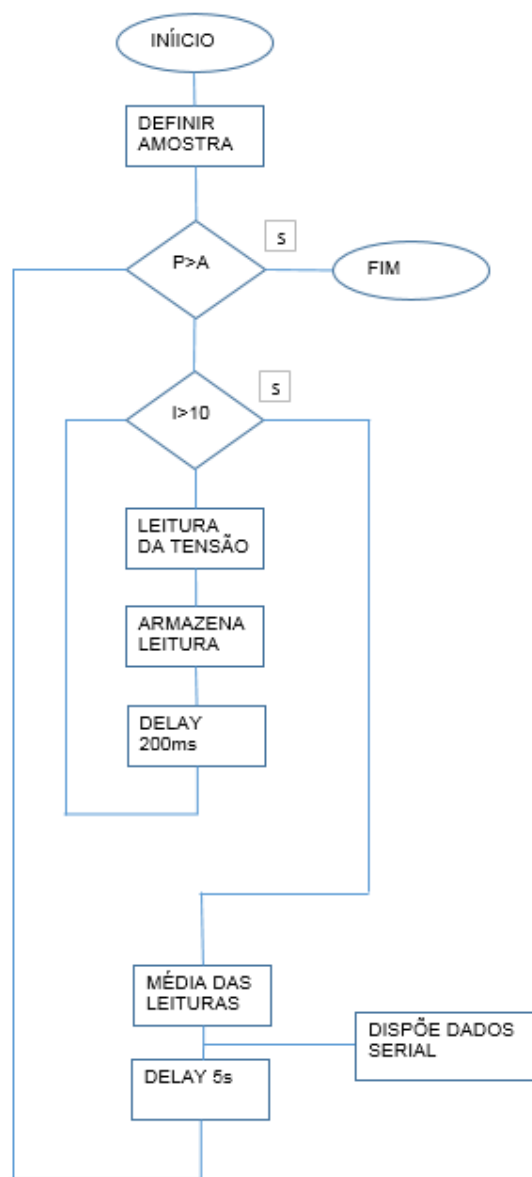


Figura 22 – Fluxograma da lógica de programação.
Fonte: Autoria Própria.

Com a programação inicial, o experimento foi levado à máquina de ensaio, permitindo a coleta dos dados necessários para montagem de um gráfico que relaciona a deformação (ϵ) sobre a ferramenta com a tensão elétrica de saída (V) do circuito. Com esses valores foi possível extrair a curva característica dessa relação, que está representada na Figura 24. Esses dados foram coletados de forma prática, ou seja, no *display* da máquina de ensaio era exibido o valor da força aplicada sobre a ferramenta e no excel era exibido o valor de tensão (0 a 3,75V). Importante ressaltar que o range de variação do protótipo (0 a 3,75V) é capaz de corresponder de forma

coerente a um range de força dentro do limite de carregamento da célula de carga (0 a 2,05kN), sendo que a partir desta o extensômetro entra na zona plástica de deformação. A Figura 23 mostra a ferramenta sendo submetida ao ensaio estático.

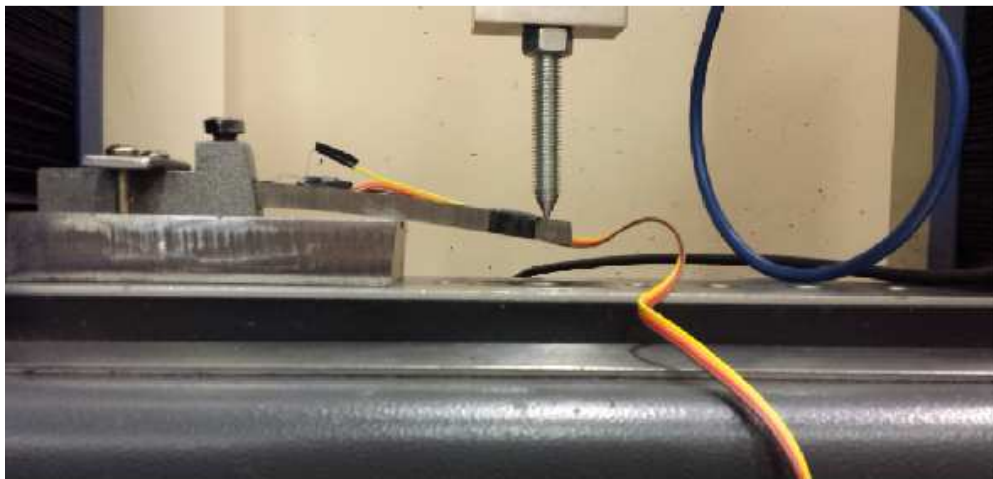


Figura 23 – Ensaio estático na máquina de ensaio.
Fonte: Autoria própria.

4.8 ENSAIO ESTÁTICO

Para que o sistema indicasse uma tensão elétrica de 0V na saída para a ferramenta sem nenhuma carga, foi ajustado o trimpot da ponte de *Wheatstone* até que se atingisse esse valor, sendo necessário esse ajuste todo início de operação.

Os valores de tensão e deformação obtidos na máquina de ensaio de tração foram ajustados numericamente através do modelo de regressão linear simples, utilizando o método dos mínimos quadrados para obtenção dos valores dos coeficientes e estimativas de erros. A função linear ajustada foi $\epsilon = a.E_0 + b$, que correlaciona a deformação com a tensão elétrica de saída.

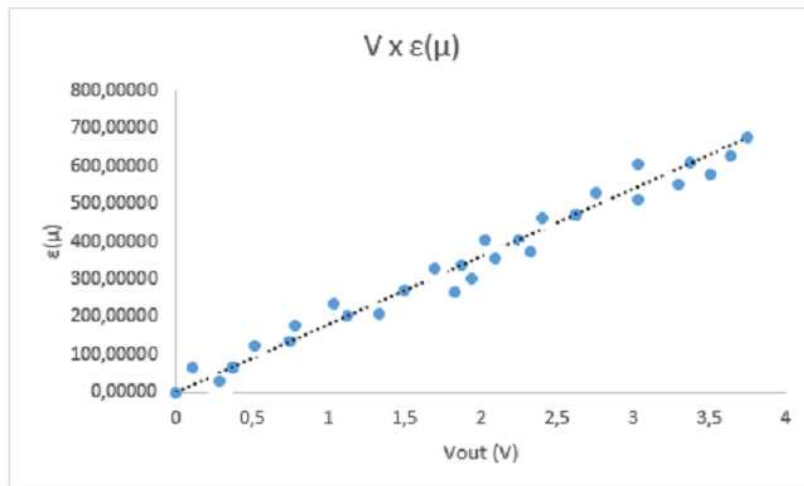


Figura 24 – Ajuste da reta pelo método dos mínimos quadrados
Fonte: Autoria própria

A função linear foi escolhida devido a simplicidade matemática e da boa sensibilidade dos dados experimentais alcançados conforme o objetivo desejado. Dependendo dos objetivos em relação à precisão do sensor de força, tem-se a possibilidade de melhorar a sensibilidade dos dados experimentais buscando outras funções matemáticas mais complexas para realizar o ajuste numérico.

Na Tabela 3, pode-se verificar os coeficientes e as estimativas dos erros referentes aos parâmetros da função linear utilizada no ajuste numérico entre tensão elétrica e deformação. A influência de tais estimativas de erros na interpretação dos valores de força, através da tensão elétrica, projeta uma propagação destas incertezas para o valor final de deformação.

$a \pm \Delta a$	$b \pm \Delta b$
$0,0001803 \pm 0,0000002$	$0,0 \pm 0,0000001$

Tabela 3 – Coeficientes e erros estimados da regressão linear simples.
Fonte: Autoria Própria.

O ensaio é dependente da calibração do sensor que está na tentativa de se encontrar o seu “*fator gauge*”. Nassar (2001) afirma que o fator fornecido pelo fabricante oferece melhor precisão que o fator estabelecido em outros ensaios. Esse fato foi comprovado no ensaio em questão onde foi obtido experimentalmente o mesmo valor do “*fator gauge*” que o fornecedor forneceu. Foi possível achar o “*k*” conforme explicação a seguir.

A equação 18 que já foi deduzida anteriormente na formulação matemática indica uma relação linear entre a tensão elétrica e a deformação.

Feito as devidas comparações da equação 17 e da função linear ajustada pela regressão e também considerando o ganho do circuito amplificador, tem-se que o coeficiente linear da função ajustada equivale a $\frac{1}{220 \times E \times k}$. Igualando esse valor pelo obtido pelo método dos mínimos quadrados, encontra-se o “*fator gauge*” experimental.

5. ENSAIO PRELIMINAR EM PROCESSO DE TORNEAMENTO

Os procedimentos experimentais foram realizados no laboratório de Usinagem do departamento de Engenharia Mecânica da UFPR seguindo as especificações experimentais abaixo. Foi optado por materiais de baixo custo e alta aplicabilidade, seguindo a diretriz do projeto.

5.1 EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA O TORNEAMENTO

Para a execução dos experimentos de torneamento foi utilizado um torno mecânico paralelo universal da marca Nardini e série Diplomat, modelo ND - 220, com velocidade de avanço rápido, longitudinal e transversal, de 0,1 a 5,048 mm/rotação, potência do motor principal 7 CV no mínimo, faixa de rotação de 30 a 2360 rpm. A Figura 25 ilustra o modelo do torno utilizado.



Figura 25 – Torno mecânico utilizado para o ensaio.
Fonte: Autoria própria – Laboratório de usinagem UFPR.

5.2 PEÇA DE ENSAIO

Foi utilizado o aço SAE 1020, que é um dos aços ao carbono mais comum aplicado como aço para cementação com ótima relação custo benefício. Possuem boa soldabilidade, boa forjabilidade, baixa resistência mecânica e baixa usinabilidade.

Para a realização dos experimentos foram preparadas peças de ensaio com as seguintes dimensões: $\varnothing 80\text{mm}$ x 200mm de comprimento. A Figura 26 mostra a geometria da peça.

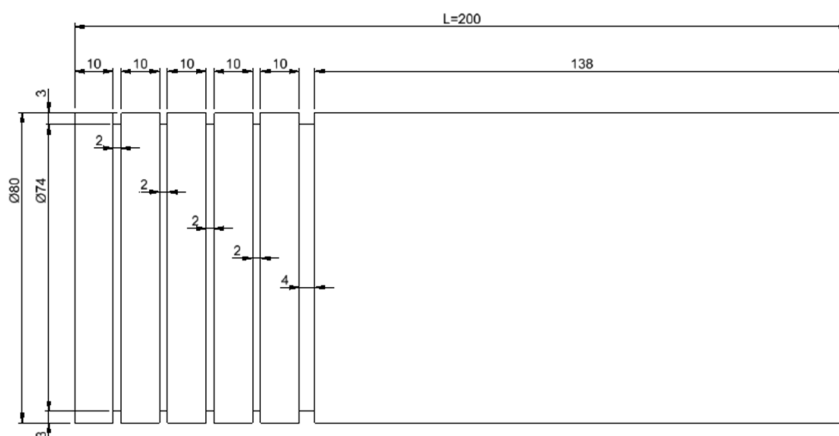


Figura 26 – Corpo Peça de Ensaio.
Fonte: Autoria própria.

5.3 ÂNGULOS DE CORTE

Os ângulos da cunha de corte estão presentes na Tabela 4:

Geometria da ferramenta	$A\gamma$	$A\alpha$	χ_r	a_p
Usinagem ABNT 1020	5	5	85	0,3

Tabela 04 – Geometria ferramenta Ensaio Dinâmico.
Fonte: Autoria própria.

5.4 PARÂMETROS DE CORTE

Os parâmetros de corte que foram utilizados seguem os padrões que a literatura exige. Foi utilizada a velocidades de corte 25 m/min. O avanço foi de 0,3 mm/rotação sob a condição de corte a seco. A profundidade do corte para a operação foi de 0,30 mm.

5.5 REALIZAÇÃO DO ENSAIO

A programação inicial do arduíno foi alterada para que o esforço seja obtido através da função linear ajustada no ensaio estático e também foi aumentada a taxa de aquisição de dados para uma frequência de 100 Hz.

Nesse ensaio foi necessária uma nova colagem do *strain gage*, sendo que o mesmo foi colado a 50 mm da ponta da ferramenta. O comprimento em balanço da ferramenta foi de 65 mm.

Foi realizado para aquisição de dados um ensaio contínuo contendo 5 estágios. Cada um desses estágios com o comprimento de 12mm, sendo que nos 10mm inicial a ferramenta executa uma operação de acabamento e em 2mm a mesma continuará em vazio. O avanço foi constante em 0,3mm/rotação, de modo que o ensaio acaba apenas após a operação em vazio do último estágio, completando assim um curso de 60mm.

Na Figura 27 são mostrados os dados obtidos através do ensaio gerado nas circunstâncias citadas:

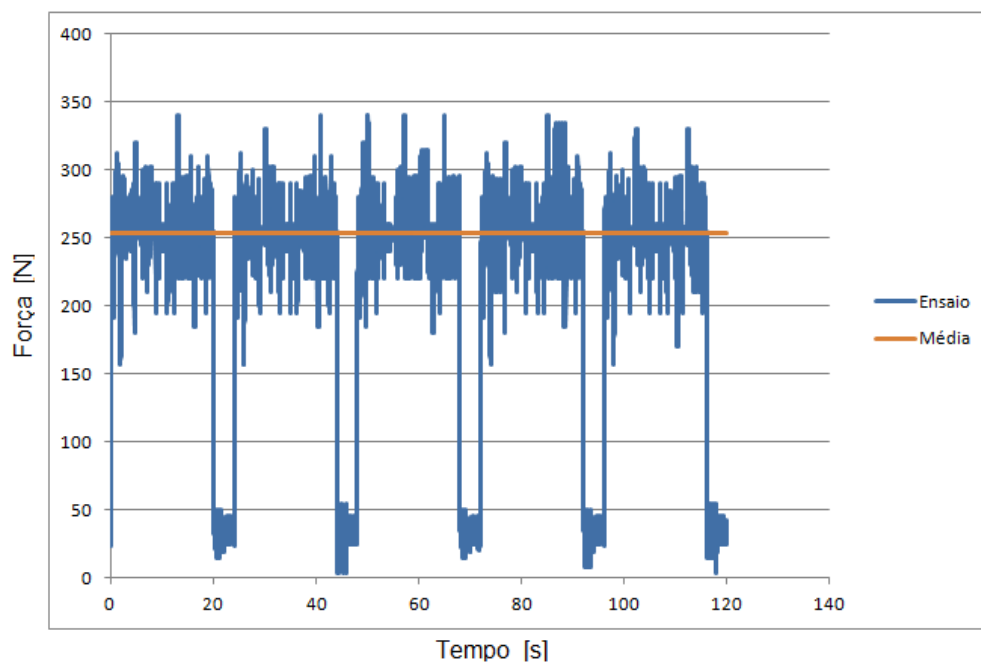


Figura 27 – Aquisição de dados – Ensaio de torneamento.
Fonte: Autoria própria.

O gráfico gerado mostra a resultante de componentes de força atuante no ponto do extensômetro em um intervalo de tempo de 120 segundos durante os 5 estágios do ensaio. Nota-se que a força em processo de acabamento fica entre 150 à 350N, dentro dos 20 segundos analisados.

Analisando apenas a operação de acabamento nos estágios, observou-se uma média de aproximadamente 253N e durante os 4 segundos em vazio, o sistema apresentou uma tensão residual, próxima aos 35N em média.

6 DISCUSSÃO

Os pontos adquiridos divergiram em torno de 100N para cima ou para baixo da média, sendo que há uma incerteza quanto ao valor medido. Obteve-se uma repetibilidade aceitável, a partir das limitações conhecidas do experimento.

Apesar do zero do sistema ter sido ajustado, a partir do momento que o torno começava a execução do processo, houve uma tensão sendo induzida no sistema. A causa dessa tensão pode ter ocorrido por motivos como: corrente de Foucault, vibração da ferramenta, ruídos rede elétrica, entre outros. Em ambas as etapas foram observadas a mesma instabilidade.

Analisou-se o ensaio pelo método de Kienzle onde $K_c1.1$ equivale a 1800 e $1-mc = 0,83$. Os valores de b e h para o ensaio são 0,3. A força de corte aproximou-se a 198N.

A mesma análise foi realizada segundo o método da norma alemã AWF 158, onde K_c equivale aproximadamente 2100, e os valores de ap e f para o ensaio são de 0,3. O valor obtido para força de corte foi de 189N.

Em ambos os métodos se chegou a valores próximos dos valores obtidos pela média retirada do ensaio que foi de 253N. Isso aponta que o dispositivo serve como ponto de partida para um equipamento de medição de força de corte.

Devido a variáveis no processo de torneamento como: força de usinagem, material, condições da máquina utilizada em ensaio, geometria de corte da ferramenta, e outras mais, foi difícil a interpretação do sinal medido. Também houve dificuldade quanto a sensibilidade do extensômetro a temperaturas elevadas, ao ruído do sistema e do ambiente. As limitações do sistema e de custo inviabilizaram análises mais apuradas.

7 CONCLUSÃO

Foi dimensionada uma ferramenta de aço rápido, ideal para os ensaios realizados. A geometria dessa ferramenta e o tipo de esforço analisados foram os motivos limitantes para a especificação do extensômetro.

O circuito eletrônico desenvolvido para condicionamento de sinal foi implementado com componentes de baixo custo e confeccionado em placa padrão. Foi desenvolvido também um filtro passa baixa para filtrar ruídos de alta frequência do ambiente.

A aquisição de dados do sistema foi através do arduino e do PLX- DAQ que faz a comunicação com o mesmo.

O ensaio estático realizado em laboratório possibilitou uma simulação da força de corte, sendo que os resultados obtidos tiveram confiabilidade e linearidade apresentando dados conclusivos.

No ensaio dinâmico foi possível a aquisição de dados referente a força de corte e constatou-se uma repetibilidade na obtenção de dados nas mesmas condições de processo. Contudo observou-se uma incerteza nos resultados adquiridos, decorrente das diversas variáveis de processo encontradas no ensaio e também pela limitação do sistema. Ruídos e fatores externos contribuíram para a imprecisão dos resultados.

Apesar da incerteza na aquisição de dados no processo dinâmico, a faixa de valores obtida fica próxima ao valor calculado teoricamente segundo Kienzle e a norma alemã AWF 158. Com isso o dispositivo implementado vem a ser um ponto de partida de um potencial equipamento para auxiliar no ensino de processos de fabricação.

O dispositivo teve um custo de aproximadamente R\$ 700,00, um valor significativamente baixo se comparado às placas presentes no mercado. Apesar de haver uma disparidade na precisão e confiabilidade dos dados entre os sistemas mencionados, o dispositivo mostrou-se atrativo para futuras melhorias.

8 TRABALHOS FUTUROS

Após realização desse estudo sobre força de corte, foram observados alguns pontos dos quais são necessários aprimoramentos dentro desse experimento.

É possível obter uma melhora significativa na precisão do sinal, adicionando filtros na fonte chaveada e na saída da ponte de *Wheatstone*. Estes filtros irão eliminar consideravelmente ruídos presentes no sistema.

Utilizar extensômetros em ponte na ferramenta seria uma alternativa para melhorar a confiabilidade do sinal obtido.

Realizar uma calibração prévia do dispositivo para a mesma condição na qual este será analisado em processo. A calibração irá gerar uma faixa de valores conhecidos, dos quais serão tomados como base para os dados adquiridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDOLFATO, Rodrigo P.; CAMACHO, Jefferson S.; BRITO, Gilberto A.; **Extensometria Básica**. Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Extensometria%20basica.pdf>>. Acesso em: 09 Abr. 2015.

BEER, Fernand P.; JOHNSTON, E. Russel, Jr.; **Resistência dos Materiais**. 3. Ed. São Paulo: MAKRON Books, 2011.

BORCHADT, I. G.e Brito, r. m. **Fundamentos de Instrumentação para Monitoramento e Controle de Processos**. 2º ED. São Leopoldo: Unisinos, 1998.

BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis; **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 6. Ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1999.

COSTA, E. T.; **Transdução e medida de deslocamento**. Dissertação (Graduação em Eng. Elétrica) – UNICAMP, Universidade de Campinas, 2005.

Datasheet Catalog. Disponível em: <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/2301.pdf>>. Acesso em: 08 Jun. 2015.

DEMAR. Disponível em: <http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/aulas/Extensometros_eletricos.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2015.

DINIZ, A. E. et al. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**, 4ª EDIÇÃO, São Paulo:Artibeler Editora, 2003.

Documento informativo Arduino. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>>. Acesso em: 18 Jul. 2015.

EFISICA. **Medidas de resistência elétrica**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/medidas/medida_resist_eletrica/>. Acesso em: 15 Set. 2012.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo, Edgard Blucher Ltda.1977.

GRANTE. Grupo de Análise e Projeto Mecânico. **Apostila de Extensometria**. Florianópolis, 2011. Disponível em: <<http://www.grante.ufsc.br/download/SGApostila.pdf>>. Acesso em 18 Jul. 2015.

Henry Equipamentos Eletrônicos. Disponível em: <<http://www.henry.com.br/acessorios/fonte-universal>>. Acesso em: 27 Jul. 2015.

HIBBELER, R. C.; **Resistência dos Materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson, 2010.

HIGDON, J. **Mechanics of Materials**. New York: John Wiley, 1976.

J. W. DALLY, W. F. RILEY, K. G. MCCONNELL. **Instrumentation for Engineering Measurements**. New York: John Wiley, 1993.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. São Paulo: Edusp, 2008.

LIRA, José G. A.; **Amplificador Operacional**. Campina Grande, 2012. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gutemb/AmpOp.pdf>>. Acesso em 15 Set. 2015.

MSPC Informações Técnicas Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/elemag/celetr0250.shtml>>. Acesso em: 02 fev. 2015

NASSAR, W. M. **Utilization of Instrument Response of Superpave Mixes at Virginia Smart Road to Calibre Laboratory Developed Fatigue Equations**. Dissertação de Doutorado. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia, USA, 2001. 218 p.

OLIVEIRA BUFFONI, S. S. **Tensão de Cisalhamento**. Aula de resistência dos materiais. Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda. 2009, p. 02.

Omega. Disponível em: <http://www.omega.com/pptst/SGT_UNIAXIAL.html>. Acesso em: 06 Jun. 2015.

Página do Arduino. Disponível em: <<http://playground.arduino.cc/Portugues/HomePage>>. Acesso em: 10 Set. 2015.

PALLÀS-Areny, R.; WEBSTER, J. G., **Sensors and signal conditioning**, 2nd Ed. (John Wiley & Sons, New York, 2001), p. 80.

Parallax. Disponível em:< <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>>. Acesso em: 10 Set. 2015.

PATRANABIS, D. **Principles of Industrial Instrumentation**. 2nd Ed. Tata McGraw-Hill. New Delhi, 1996.

PESQUEIRA, Manoel H.; **Amplificador Operacional**. Recife, 2008. Disponível em: <<http://manoel.pesqueira.ifpe.edu.br/cefet/anterior/2008.1/elebas/aop/AOP.htm>>. Acesso em: 18 Set. 2012.

SOUZA, A. J. **Aplicação de multisensores no prognóstico da vida da ferramenta de corte em torneamento**. Florianópolis/SC, Tese de Doutorado, POSMEC-UFSC. 2005.

STEMMER, C.E. **Ferramentas de Corte I**. 5. Ed. Florianópolis Ed. Da UFSC, 2001

TRENT, M. C.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting principles**. 4th ed. Butterworth-Heinemann, USA, 2000.

UFES–MINICURSO ARDUINO. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~erus/arquivos/ERUS_minicurso%20arduino.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2015.

UFSC – APOSTILA EXTENSOMETRIA. Disponível em: <<http://grante.ufsc.br/download/Extensometria/SG-Apostila.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

APÊNDICE A – Programação para ensaio estático

```
# define sensor A0
int i;
int p=0;
int sinal;
float media;
float tensao;
int ROW=0;
int LABEL=1;
void setup(){
  analogReference(EXTERNAL);
  Serial.begin (9600);
  Serial.println ("CLEARDATA");
  Serial.println ("LABEL, Time, media_tensao");
}
void loop () {
  if (p==50){
    ROW=0;
    Serial.println("medição finalizada");
    break;
  }
  i=0;
  media=0;
  while(i>10){
    sinal=analogRead(sensor);
    tensao=sinal*(3,75/1024);
    media=media+tensao;
    delay(200);
    i++;
  }
  media=media/10;
  ROW++;
}
```



```
Serial.print ("DATA, TIME,");  
Serial.print (media);  
Serial.println ("");  
p++;  
delay(5000);  
}
```

APÊNDICE B – Programação para ensaio dinâmico

```
#define sensor A0
int i;
int p=0;
int sinal;
float media;
float tensao;
int ROW=0;
int LABEL=1;
float forca;
void setup(){
  analogReference(EXTERNAL);
  Serial.begin (9600);
  Serial.println ("CLEARDATA");
  Serial.println ("LABEL, Time, media_ tensao,forca");
}
void loop () {
  if (p==1000){
    ROW=0;
    Serial.println("medição finalizada");
    break;
  }
  i=0;
  media=0;
  while(i>10){
    sinal=analogRead(sensor);
    tensao=sinal*(3,75/1024);
    media=media+tensao;
    delay(10);
    i++;
  }
  media=media/10;
```

```
forca=((0,0001803*media)+0,000)*(0,0004*200000000000);  
ROW++;  
Serial.print ("DATA,TIME,");  
Serial.print (media);  
Serial.print (",");  
Serial.println (forca);  
p++;  
delay(10);  
}
```

ANEXO A – Lista de materiais e custo

MATERIAIS ELÉTRICOS						
QTDE.	DESCRIÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE	REFERÊNCIA	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL
1	RESISTOR	350	OHM	PONTE WHEATSTONE	R\$ 0,10	R\$ 0,10
2	RESISTOR	352	OHM	PONTE WHEATSTONE	R\$ 0,10	R\$ 0,20
1	RESISTOR	9,8	OHM	PONTE WHEATSTONE	R\$ 0,10	R\$ 0,10
6	RESISTOR	1 K	OHM	CIRCUITO AMPLIFICADOR	R\$ 0,10	R\$ 0,60
2	RESISTOR	5 K	OHM	CIRCUITO AMPLIFICADOR	R\$ 0,10	R\$ 0,20
1	RESISTOR	39 K	OHM	CIRCUITO AMPLIFICADOR	R\$ 0,10	R\$ 0,10
1	RESISTOR	15 K	OHM	FILTRO	R\$ 0,10	R\$ 0,10
1	TRIMPOT	10	OHM	PONTE WHEATSTONE	R\$ 0,80	R\$ 0,80
1	CAPACITOR	100µ	FARAD	FILTRO	R\$ 1,00	R\$ 1,00
2	CAPACITOR	1n	FARAD	ACOPLAMENTO	R\$ 1,00	R\$ 2,00
1	ARDUINO	ATMEGA 2560	PÇ	CONTROLE	R\$ 60,00	R\$ 60,00
1	CI AMPLIFICADOR OPERACIONAL	TL084CN	PÇ	CIRCUITO AMPLIFICADOR	R\$ 5,00	R\$ 5,00
1	REGULADOR DE TENSÃO	LM7812	PÇ	ALIMENTAÇÃO DA PONTE	R\$ 3,00	R\$ 3,00
1	PLACA DE FENOLITE PERFURADA	100 X 150 mm	PÇ	CIRCUITO	R\$ 11,00	R\$ 11,00
2	FONTE CHAVEADA HENRY EQUIP.	14,5V - 4,5A	PÇ	ALIMENTAÇÃO CIRCUITO	R\$ 57,00	R\$ 114,00
1	EXTENSÔMETRO	SGT-3E/350-TY13	PÇ	PONTE WHEATSTONE	R\$ 29,00	R\$ 29,00
					TOTAL	R\$ 227,20

MATERIAIS MECÂNICOS						
QTDE.	DESCRIÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE	REFERÊNCIA	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL
4	AÇO SAE 1020		Kg		R\$ 35,00	R\$ 140,00
1	FERRAMENTA AÇO RÁPIDO		PÇ		R\$ 27,40	R\$ 27,40
1	PORTA BIT		PÇ		R\$ 32,50	R\$ 32,50
2	PARAFUSO DIN 912 M12 X 100 mm		PÇ		R\$ 1,20	R\$ 2,40
4	PARAFUSO PHILLIPS M4 X 60		PÇ		R\$ 0,30	R\$ 1,20
0,1	BARRA ROSCADA M10		m		R\$ 4,50	R\$ 4,50
1	USINAGEM		UND		R\$ 250,00	R\$ 250,00
					TOTAL	R\$ 458,00

ANEXOB – Especificação técnica Arduino ATMEGA 2560

ARDUINO & GENUINO PRODUCTS > Arduino MEGA 2560 & Genuino MEGA 2560



Technical specs

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

Fonte: Arduino cc. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>.

ANEXO C – Especificação técnica fonte chaveada Henry Equipamentos

Fonte Chaveada Universal 14,5V 4,5A



Operacional

- Tensão de entrada: 100-240 VAC
- Frequência de entrada: 50/60 Hz
- Tensão de saída nominal: 14,5v
- Tolerância de saída nominal: 5% (13.78V - 15.23V)
- Corrente de saída nominal: 4,500mA
- Corrente AC com carga nominal: 1,0 A
- Corrente AC sem carga nominal: 0,05 A
- Tensão Ríple: 300mV

Ambiente

- Temperatura de estocagem: -10 ~ 60 C
- Temperatura de operação: 0 ~ 40 C
- Umidade: 0% até 85% sem condensação

Medidas do Produto

- Peso: 260 g
- Altura: 32 mm
- Largura: 55,06 mm
- Comprimento: 115,06 mm

HENRY | +55 41 3661-0100 | R. Rio Pequini, 400 - Jardim Weltsópolis - Pinhais, PR - Brasil
www.henry.com.br | CEP: 83322-070 | CNPJ: 01.245.055/001-24 | Inscricao Estadual: 90.115.508-53

Fonte: Henry Equipamentos Eletrônicos. Disponível em: <<http://www.henry.com.br/acessorios/fonte-universal>>

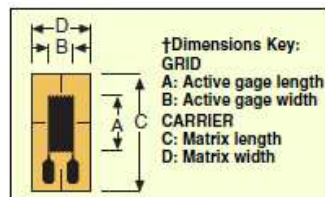
ANEXO D – Especificação técnica extensômetro

NEW **TRANSDUCER QUALITY STRAIN GAGE**
LINEAR PATTERN STRAIN GAGES

The linear pattern strain gages are used to measure strain in a single direction. They are used for experimental stress analysis, and transducer applications. The strain gage pattern is shown on the left side of the table. The "arrows" indicate the principal stress direction of the gage. OMEGA® offers miniature linear patterns for strain measurement of a stress concentration or high gradient areas, and larger sizes. The solder pads/ribbon leads are offered both at one end of the grid, or with one at each end of the grid. Wide or narrow linear grid patterns are available.

Dimensions are listed for pattern gage grid length (A) and width (B), and the matrix or carrier length (C) and width (D). The patterns include alignment triangles.

Note: To determine if the strain gages have temperature characteristics matched to steel or aluminum, see the column labeled "COMP" short for compensation, "ST" indicates steel, "AL" indicates aluminum. See the column labeled "BTP" for accessory bondable terminal pad model numbers.



MOST POPULAR MODELS HIGHLIGHTED!



To Order (Specify Model Number)		PRICE PER PKG OF 5	NOM. RESISTANCE (Ω)	DIMENSIONS mm (In) [†]				MAX V* (Vrms)	TERMINATION	TEMP COMP	TERM PAD
				GRID		CARRIER					
MODEL NO.				A	B	C	D				
Shown actual size 4 mm Leads not shown	SGT-1/350-TY11	\$27.60	350	1.0	1.8	4.0	3.0	4.5	Ribbon Leads	ST	BTP-1
	SGT-1/350-TY13	27.60	350	(0.039)	(0.071)	(0.157)	(0.118)	6	Ribbon Leads	AL	
	SGT-1/350-TY41	19.60	350	Miniature linear pattern, measurement of stress concentration 350 Ω				4.5	Solder Pads	ST	
	SGT-1/350-TY43	19.60	350					6	Solder Pads	AL	
Shown actual size, 5.6 mm Leads not shown	SGT-1A/1000-TY11	\$34.00	1000	1.5	2.9	5.6	4.1	11	Ribbon Leads	ST	BTP-1
	SGT-1A/1000-TY13	34.00	1000	(0.059)	(0.114)	(0.22)	(0.161)	15	Ribbon Leads	AL	
	SGT-1A/1000-TY41	27.00	1000	Miniature linear pattern, grid width, wide, higher resistance, reduced heat generation 1000 Ω				11	Solder Pads	ST	
	SGT-1A/1000-TY43	27.00	1000					15	Solder Pads	AL	
Shown actual size, 6.4 mm Leads not shown	SGT-2C/350-TY11	\$28.80	350	1.5	4.6	6.4	6.4	9	Ribbon Leads	ST	BTP-2
	SGT-2C/350-TY13	28.80	350	(0.059)	(0.181)	(0.252)	(0.252)	12	Ribbon Leads	AL	
	SGT-2C/350-TY41	20.80	350	Miniature linear pattern, grid width, extra wide 350 Ω				9	Solder Pads	ST	
	SGT-2C/350-TY43	20.80	350					12	Solder Pads	AL	
Shown actual size, 8.8 mm Leads not shown	SGT-3E/350-TY11	\$29.20	350	3.0	3.1	8.8	5.5	10	Ribbon Leads	ST	BTP-2
	SGT-3E/350-TY13	29.20	350	(0.118)	(0.122)	(0.346)	(0.217)	14	Ribbon Leads	AL	
	SGT-3E/350-TY41	21.20	350	Small linear pattern, lead/pad at each side of grid 350 Ω				10	Solder Pads	ST	
	SGT-3E/350-TY43	21.20	350					14	Solder Pads	AL	

DISCOUNT SCHEDULE

1 to 10 pkgs	Net
11 to 24 pkgs	5%
25 to 49 pkgs	10%
50 and up and OEM	Consult Factory

*Maximum permitted bridge energizing voltage (Vrms).
Note: For strain gage accessories see pages E-56 to E-59.
Ordering Example: SGT-3E/350-TY41, 350 Ω transducer quality uniaxial strain gage, \$21.20.

NOTE: ST = Steel
AL = Aluminum

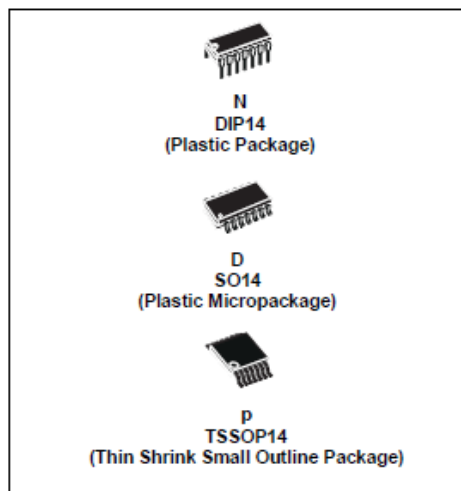
ANEXO E – Datasheet TL084CN



TL084
TL084A - TL084B

**GENERAL PURPOSE J-FET
QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS**

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/ μ s (typ)

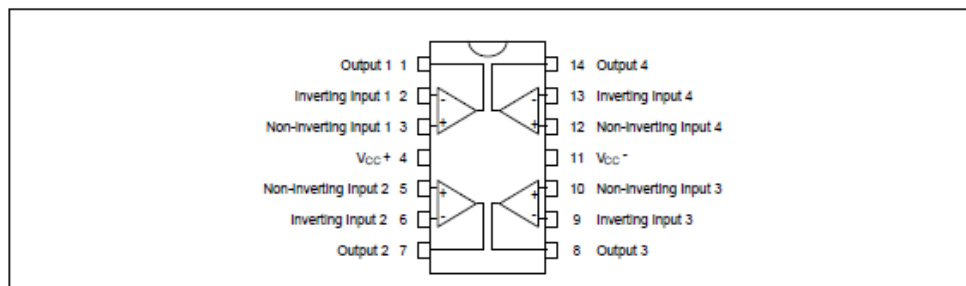


DESCRIPTION

The TL084, TL084A and TL084B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)



March 2001

ORDER CODE

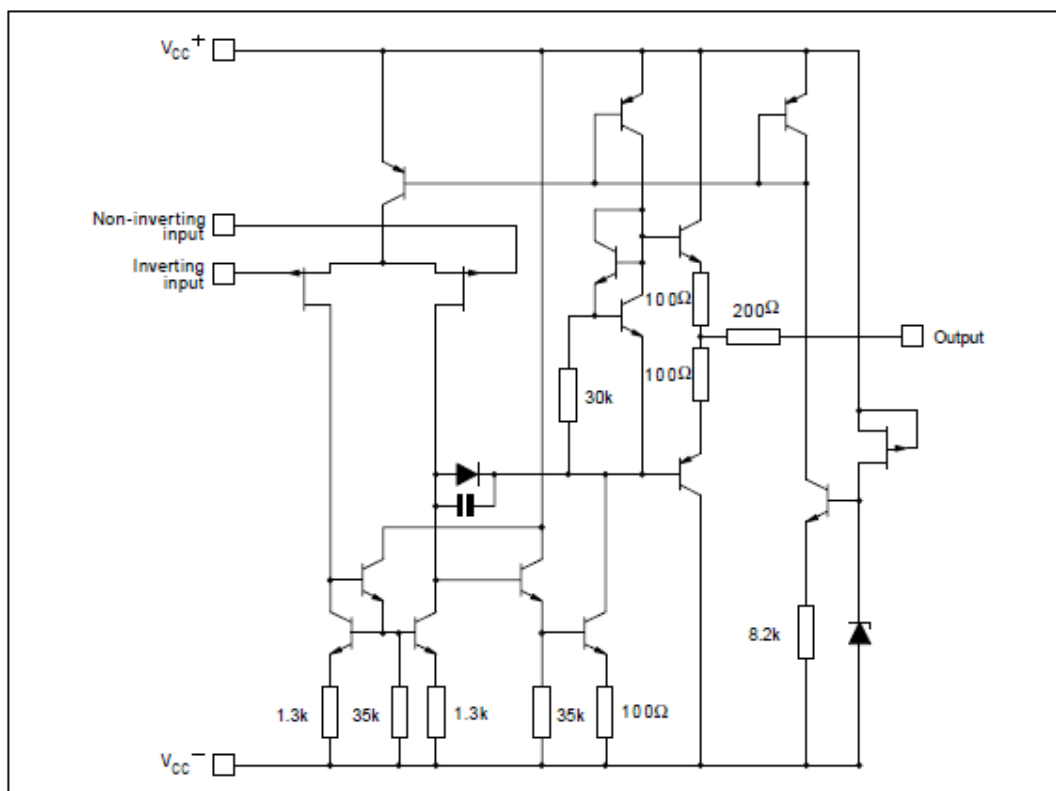
Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL084M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL084I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL084C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•
Example : TL084CN, TL084CD				

N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

ANEXO E – Datasheet TL084CN

TL084 - TL084A - TL084B

SCHEMATIC DIAGRAM (each amplifier)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL084M, AM, BM	TL084I, AI, BI	TL084C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)	±18			V
V_i	Input Voltage - note 2)	±15			V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 3)	±30			V
P_{tot}	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
2. The magnitude of the Input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

Fonte: Datasheet Catalog. Disponível em:
<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/2301.pdf>.