



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# **INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA. CAMPUS JOINVILLE CURSO MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

## **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA ENSAIO DE FLUÊNCIA**

**Sérgio Gefferson Gomes**  
**[sergio.fma@gmail.com](mailto:sergio.fma@gmail.com)**

**Orientador: Prof. Msc., André Kühl**  
**Co-Orientador: Prof. Msc., Emerson Luis de Oliveira**



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Introdução

- Ao longo dos anos os materiais metálicos vêm sendo substituídos por polímeros, será abordado o **Polietileno de Alta Densidade (PEAD)**, que apresenta:
- Resistência à abrasão;
- Baixo custo;
- Resistência à corrosão;
- Boa resposta em fadiga;
- Além de boa flexibilidade, fácil manufatura e baixo peso.



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

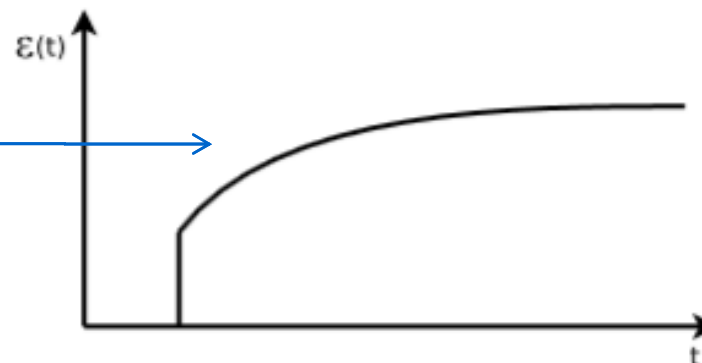
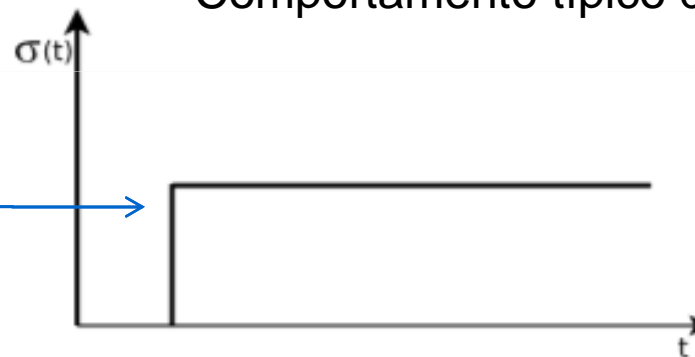
# Introdução

- Para caracterizar o comportamento viscoelástico dos materiais pode-se utilizar ensaios uniaxiais de **fluências**. Estes consistem na aplicação de uma **carga constante** onde a deformação é monitorada ao **longo do tempo**.

Tensão constante  
com o tempo

Deformação aumenta  
com o tempo

Comportamento típico de fluência





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Objetivo Geral

- Projeto e desenvolvimento de um dispositivo para realizar ensaios de fluência.

## Objetivos Específicos

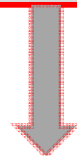
- Baseado no cronograma sugerido pela PDP, Política de Desenvolvimento de Produto, desenvolver um projeto que satisfaça os requisitos do cliente;
- Detalhar o mecanismo através do software de **CAD SolidWorks®**, com posterior usinagem em máquinas convencionais e em centro de usinagem, onde devem ser gerados os devidos **programas CNC**;
- Propor melhorias no processo para futuros trabalhos.





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

**Característica especial:**  
comportamento viscoelástico não linear



**Propriedades dependem do tempo e da carga aplicada**

## Tubulações



[www.red-pipping.cl](http://www.red-pipping.cl)

## Conexões



<http://www.napeinc.com>



<http://www.pespipe.com>



<http://www.dynalabcorp.com>

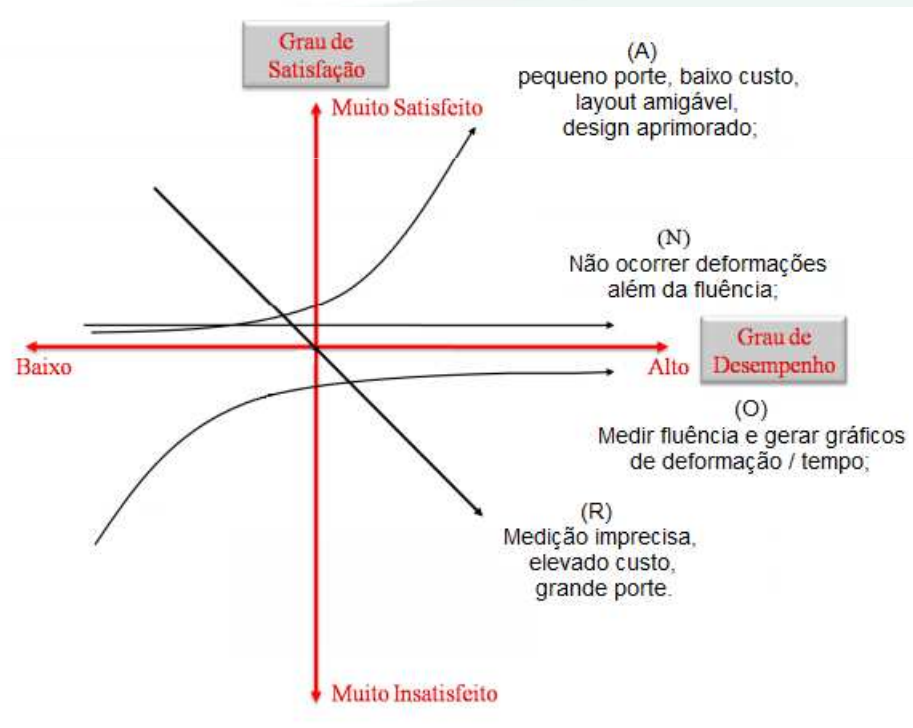
## Garrafas



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Diagrama de Kano

O diagrama de Kano é um método para o desenvolvimento ou melhoria de produtos, baseado na caracterização das **necessidades do cliente**.



- Atributo atrativo (A);
- Atributo neutro (N);
- Atributo obrigatório (O);
- Atributo reverso (R).



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Matriz Morfológica

a) Colocação dos pesos mortos	a.1 Posição dos pesos mortos		
	a.2 Sentido dos pesos		
b) Alimentação	b.1 Posição do corpo de prova		
	b.2 Sentido da alimentação		
c) Inserir extensômetro	c.1 Posição do Extensômetro		
	c.2 Sentido do extensômetro		
d) Medição da variação do extensômetro	d.1 Leitura de sinal		
	d.2 Amplificação de sinal		Placa de amplificação
	d.3 Tratamento de sinal	Filtro passa alta	Filtro passa baixa
	d.4 Envio para placa de aquisição	Cabo Flat	Placa conecto-rizada

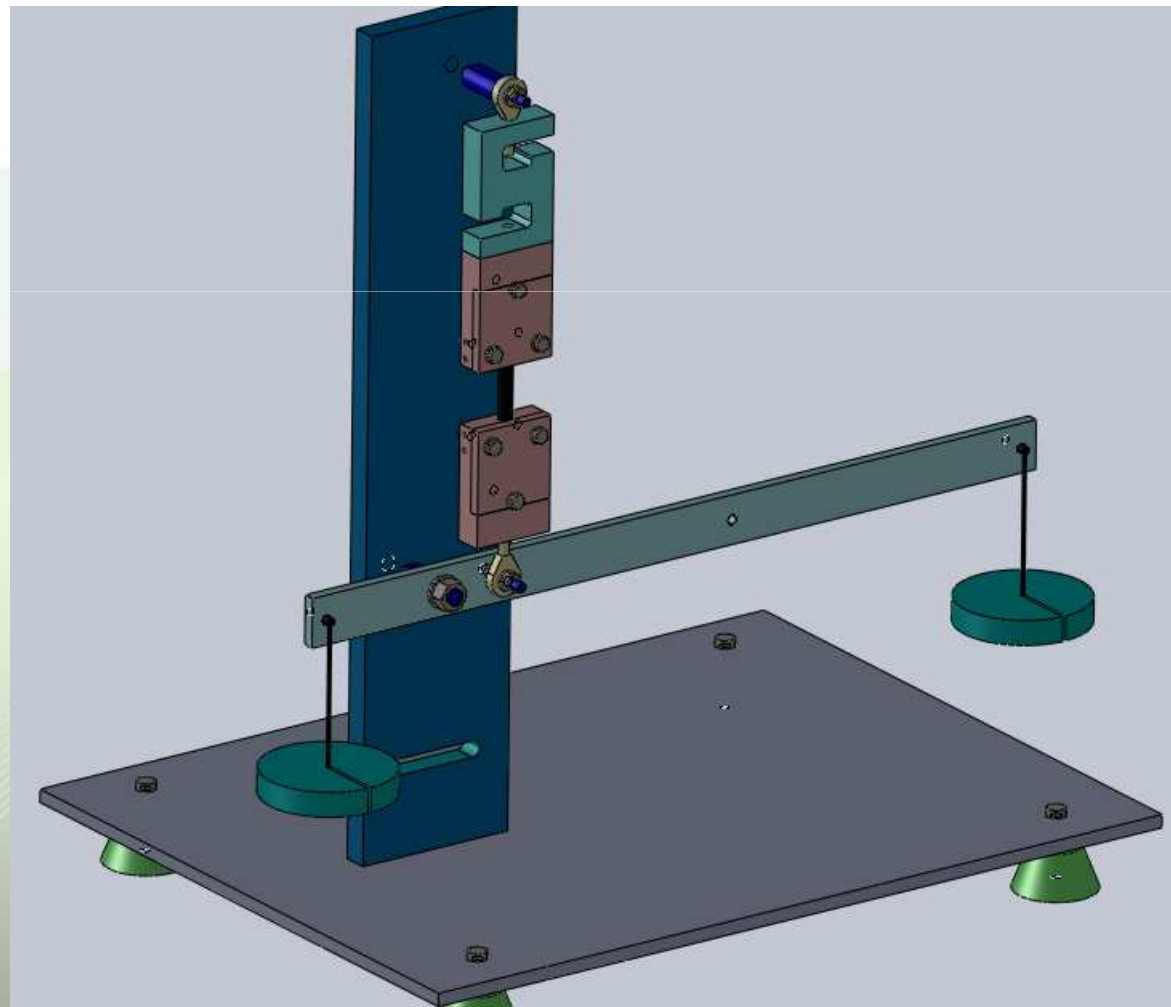
Técnica, idealizada por Fritz Zwicky (1969), propõe o cruzamento dos componentes de um dado problema com suas possíveis soluções. Servindo de inspiração para novas ideias.



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Levantamento de Alternativas

- Alternativa 1: Mecanismo com braço de alavanca (UDESC)





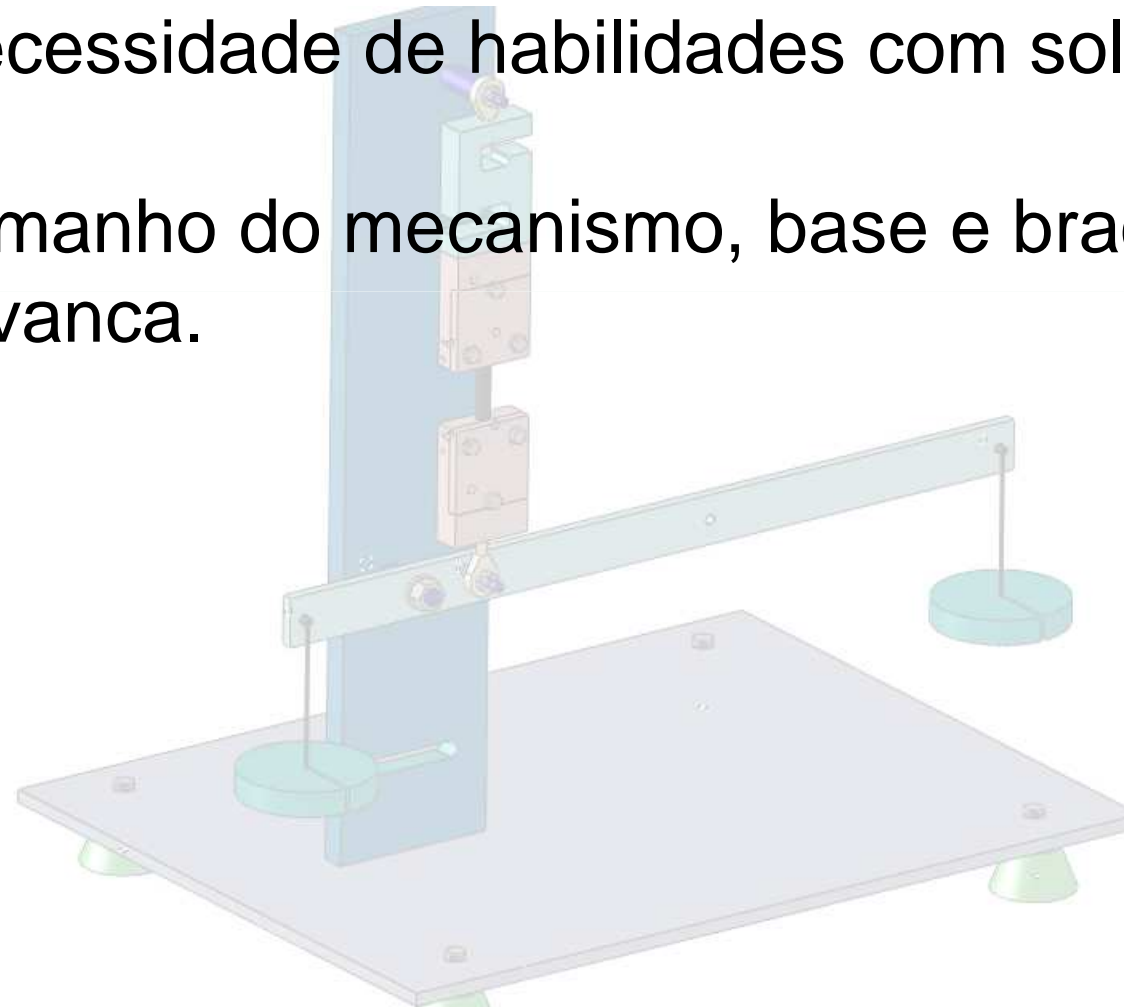


INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Levantamento de Alternativas

## DESVANTAGENS:

- Necessidade de habilidades com solda.
- Tamanho do mecanismo, base e braço de alavanca.

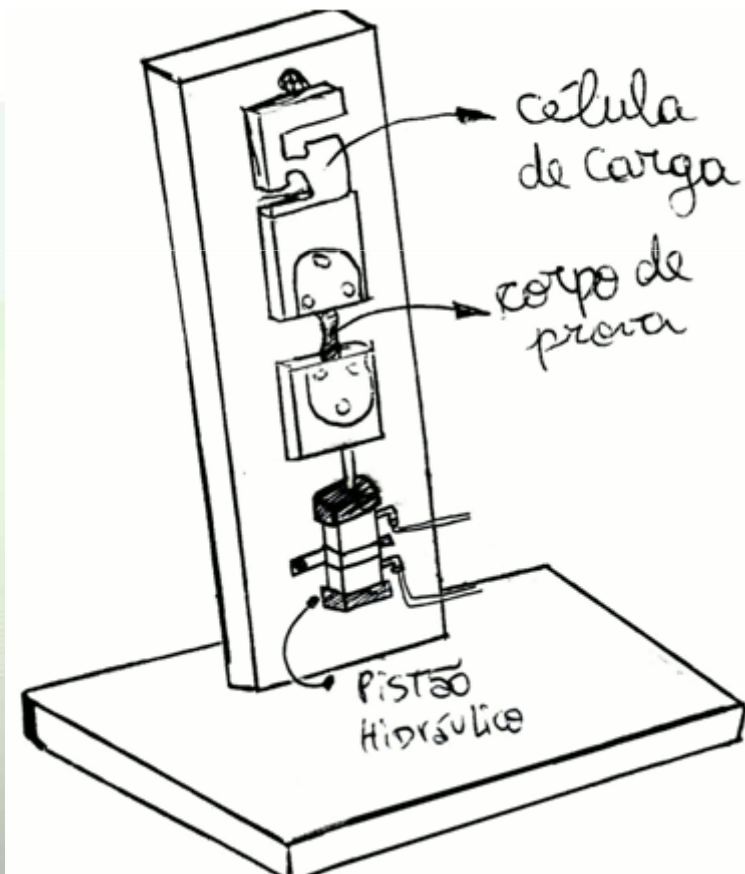




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Levantamento de Alternativas

- Alternativa 2: Mecanismo acionado por pistão hidráulico



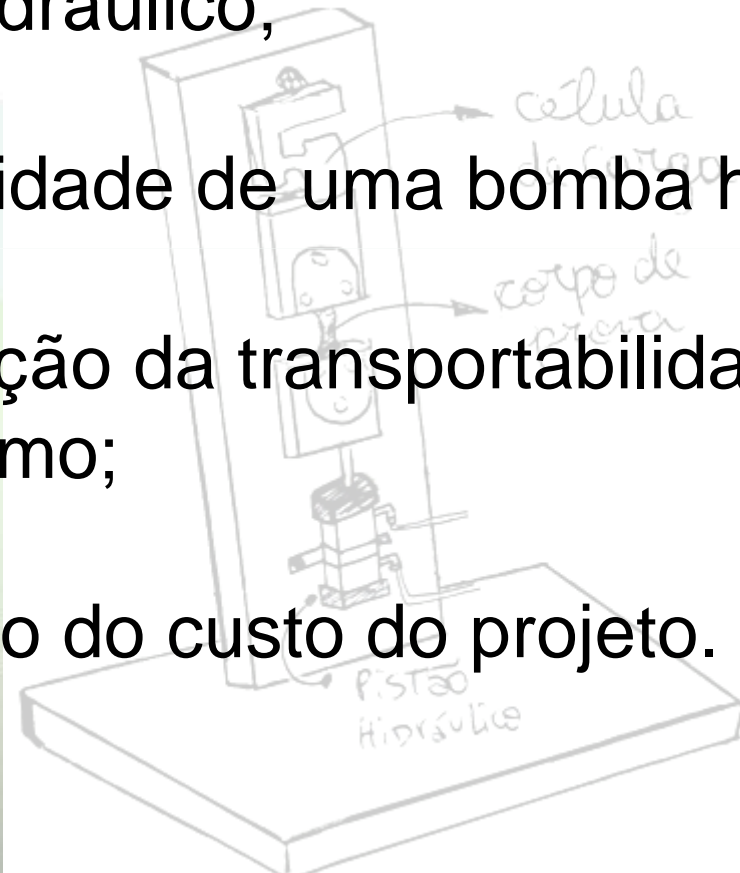


INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Levantamento de Alternativas

## DESVANTAGENS:

- Dificuldades encontradas para fixação do pistão hidráulico;
- Necessidade de uma bomba hidráulica;
- Diminuição da transportabilidade do mecanismo;
- Aumento do custo do projeto.

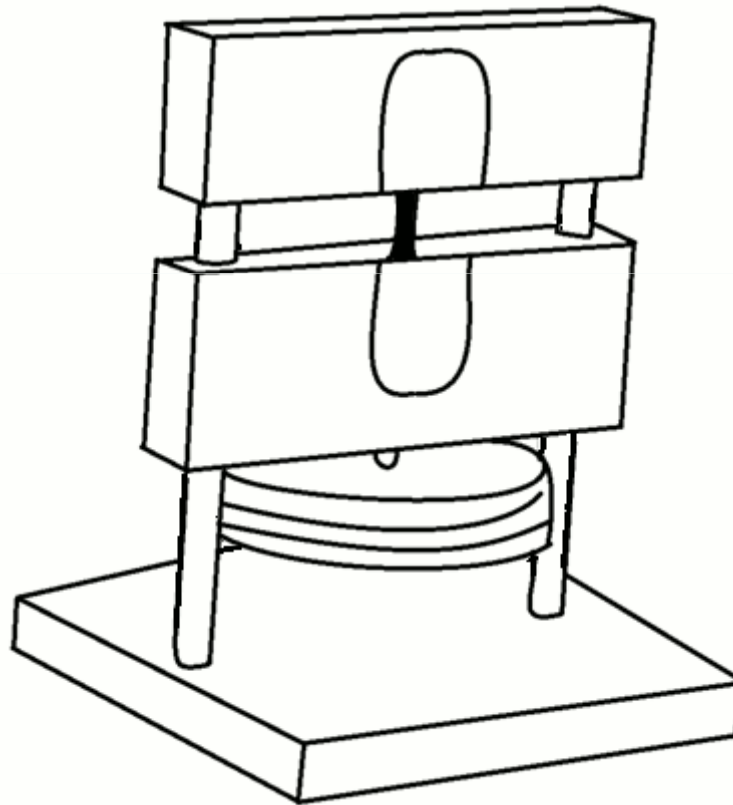




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Levantamento de Alternativas

- Alternativa 3: Mecanismo com pesos mortos







INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Levantamento de Alternativas

## VANTAGENS:

- Facilidades na construção do mesmo;
- Não há necessidade de soldagem;
- Não necessita de uma base muito grande;
- Fixações feitas por rosqueamento;
- Não necessita de compressores;
- Pequeno porte, boa transportabilidade.



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Matriz de PUGH

Serve para a seleção da alternativa que mais se adequa aos requisitos de projeto e as alternativas de solução.

Nota	Desempenho
0	Insatisfatório
1	Regular
2	Bom
3	Muito Bom
4	Ótimo

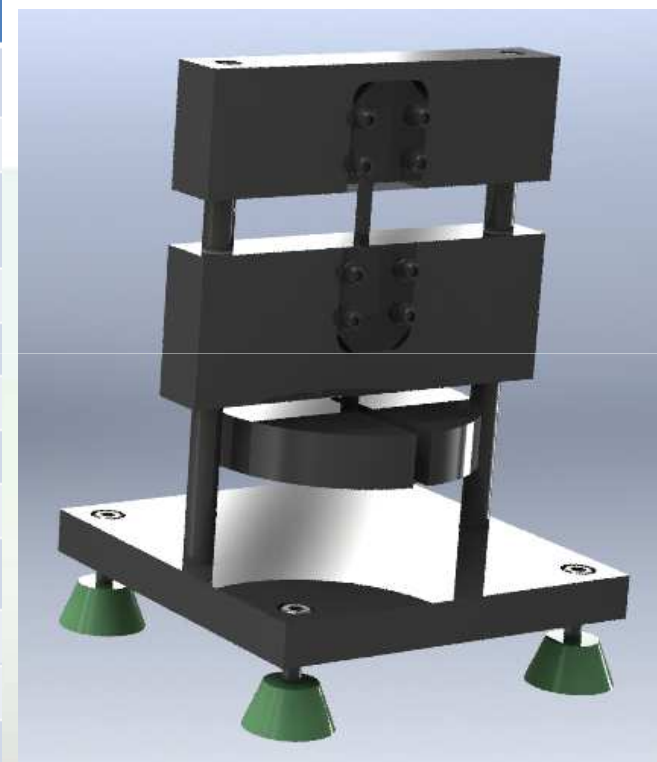


INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Matriz de PUGH



Nº	Requisitos de projetos	CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS GERADAS		
		BRAÇO DE ALAVANCA	HIDRÁULICO	PESOS MORTOS
1	LAYOUT AMIGÁVEL	0	1	2
2	PORTÁTIL	1	0	4
3	BAIXO PESO	0	0	1
4	BAIXO CUSTO	0	0	1
5	FÁCIL DE USINAR	1	1	1
6	NÃO SOFRE OXIDAÇÃO	4	4	4
7	LIVRE DE ARSTAS CORTANTES	4	4	4
8	AQUISIÇÕES DE DADOS PRECISAS	1	1	1
9	SEGUE A NORMAS DA NR12	1	1	1
10	FÁCIL DE MONTAR	0	0	4
	RESULTADO FINAL	60	62	74

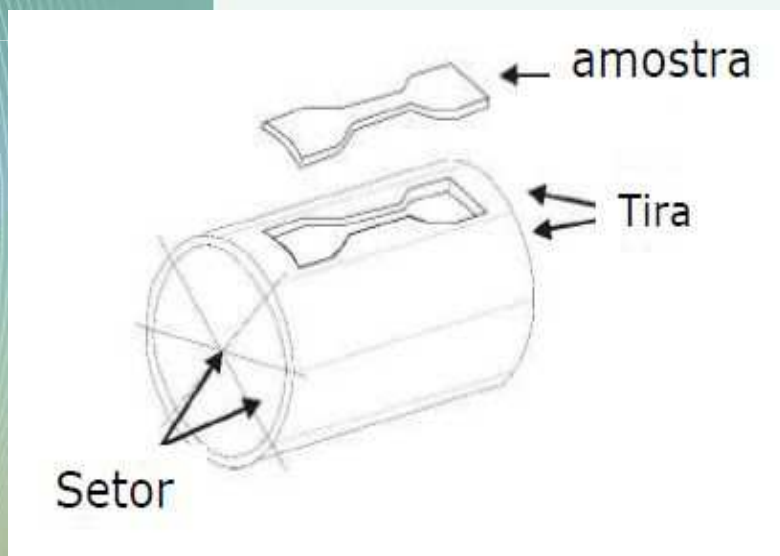




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Material

- O material utilizado nos ensaios de fluência foi o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) extraídos de tubos para transporte de água, de acordo com a norma brasileira NBR 96-22, com o auxílio de uma prensa.



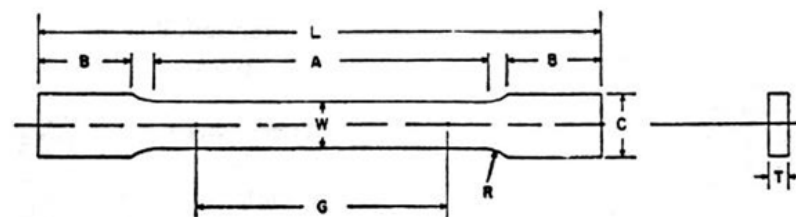




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Material

- O corpo de prova seguiu as dimensões prescritas pela norma ASTM E8.



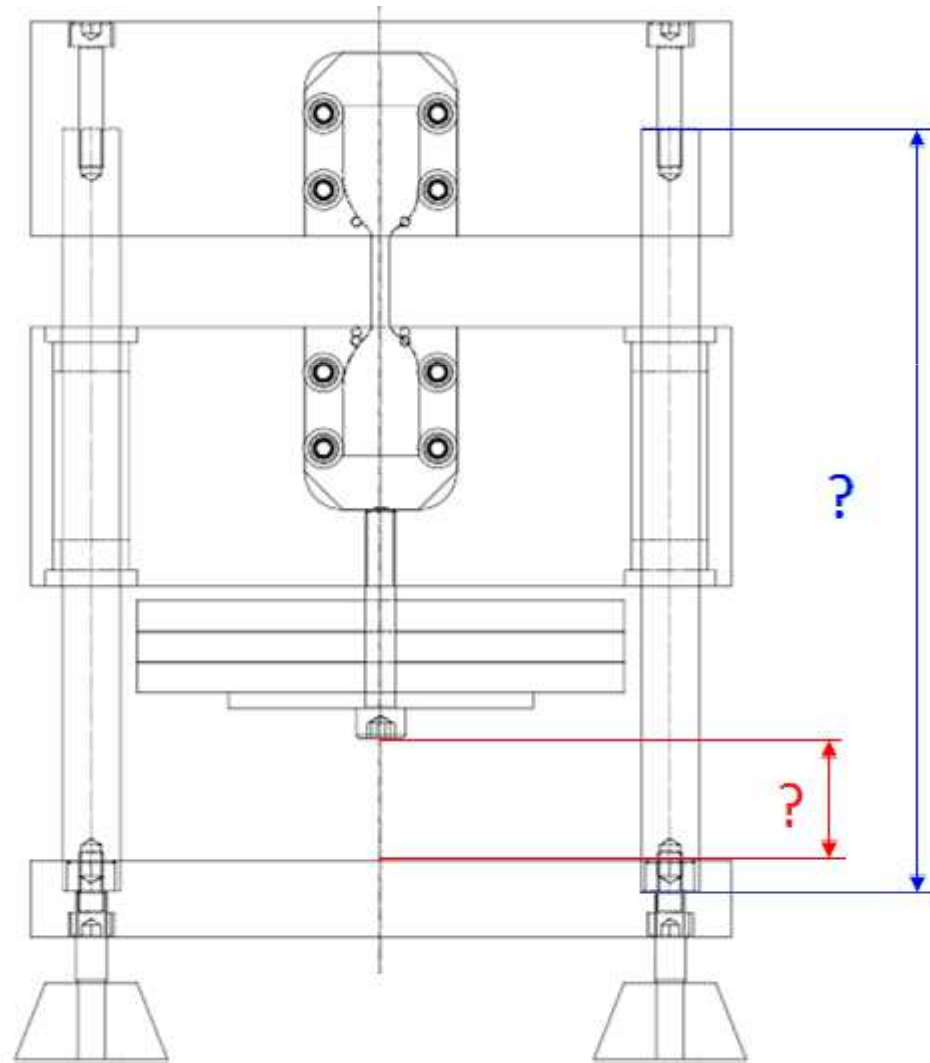
Dimensões [mm]			
Largura Nominal	Espécimes Padrão		sub- tamanho da espécime
	Tipo Plano 40 mm	Plano-Folha 12.5mm	6 mm
G- Comprimento útil	200.0±0.2	50.0±0.1	25.0±0.1
W- Largura	40.0±2.0	12.5±0.2	6.0±0.1
T- espessura	Espessura do material		
R- Raio do filete, min.	25	12.5	6
L- Comprimento total min.	450	200	100
A- Comprimento da seção reduzida, min.	225	57	32
B- Comprimento da seção de aperto, min.	75	50	30
C- Espessura da seção de aperto, aprox.	50	20	10



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Simulação CAE

- Simulação da deformação do corpo de prova sob a ação dos esforços exercidos.

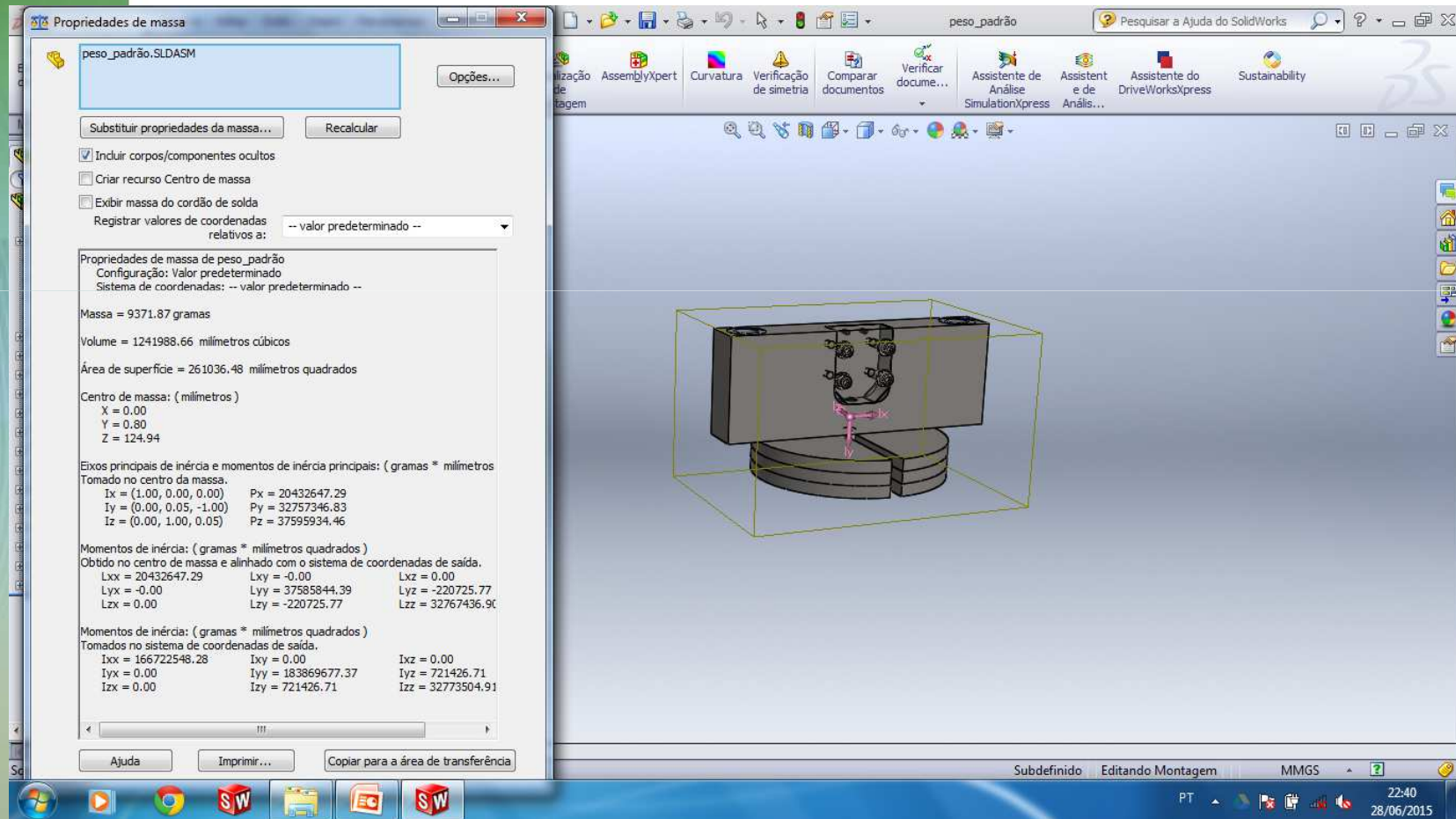




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Simulação CAE

- Simulação da deformação do corpo de prova sob a ação dos esforços exercidos.



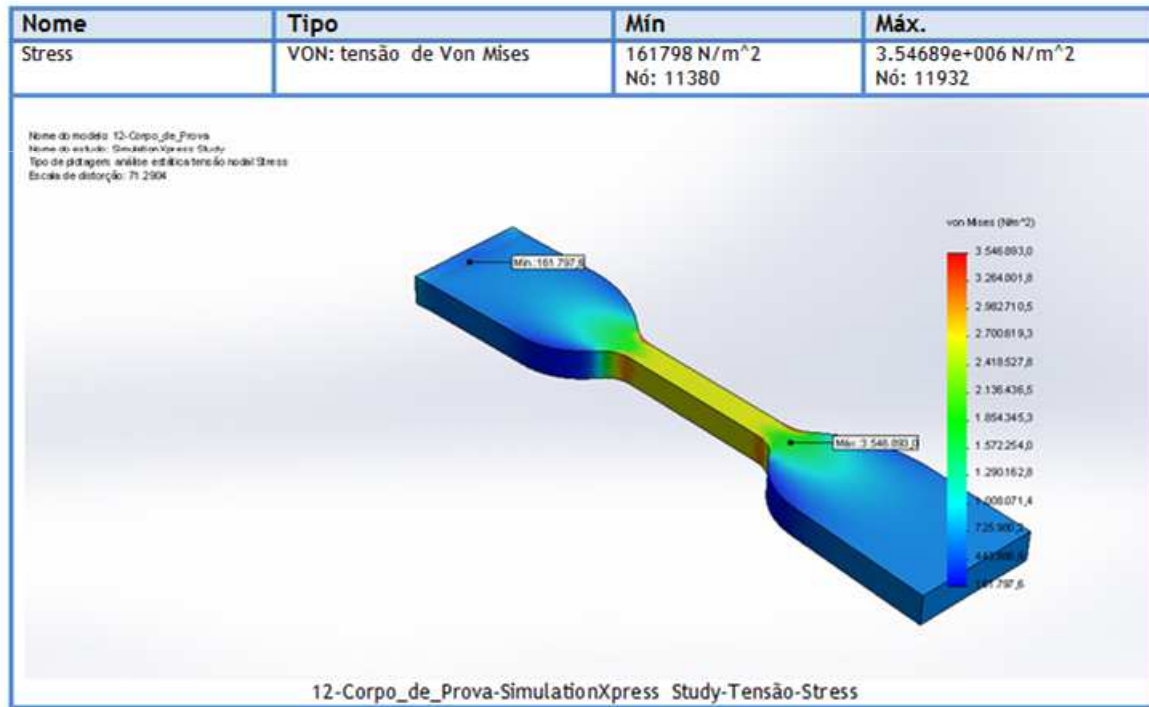
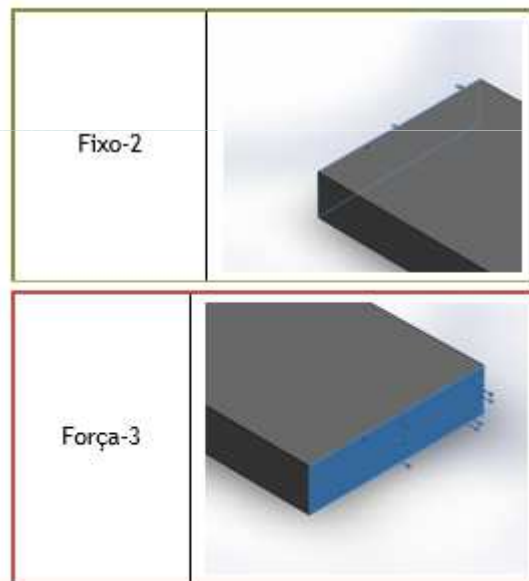


INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Simulação CAE

Simulação da deformação máxima do corpo de prova sob a ação dos esforços exercidos.

## Resultados do estudo

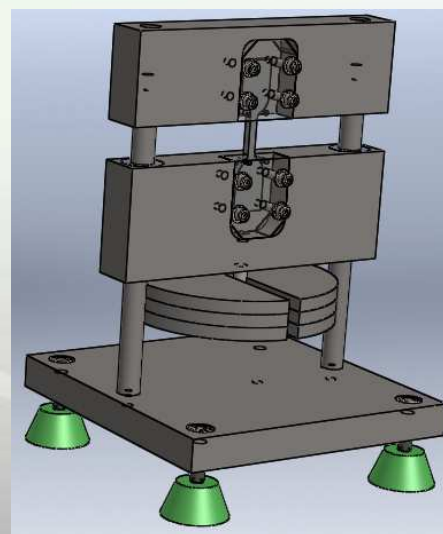
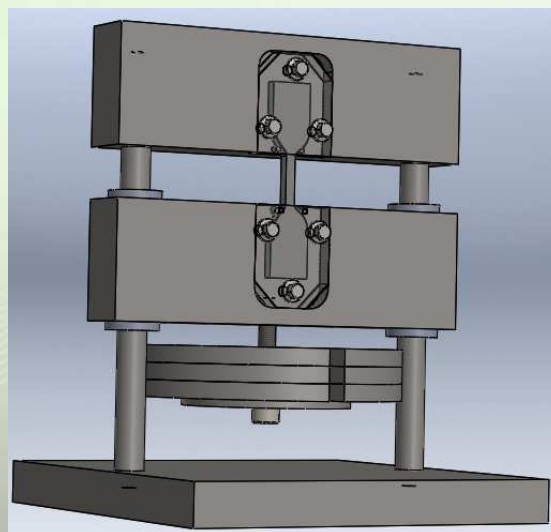
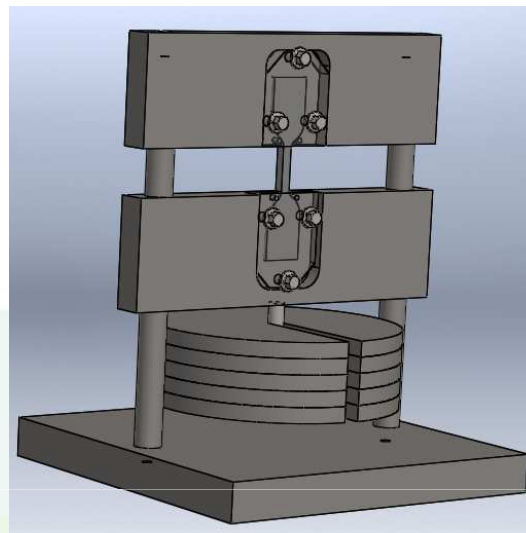
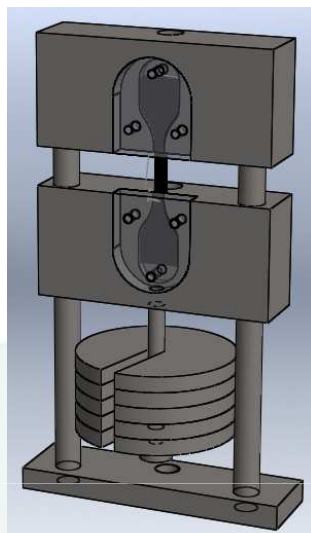






INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Aprimoramento do projeto





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Construção Mecânica

## Usinagem:

- Para a construção do mecanismo utilizou-se de quatro tipos de máquinas diferentes:
- Máquinas convencionais;
- Máquinas CNC;





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Construção Mecânica

## Montagem e Acabamento:





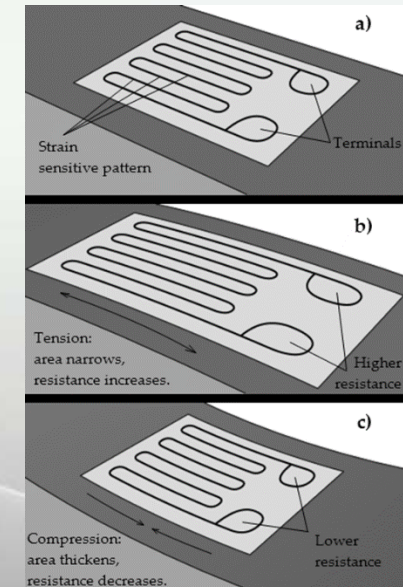
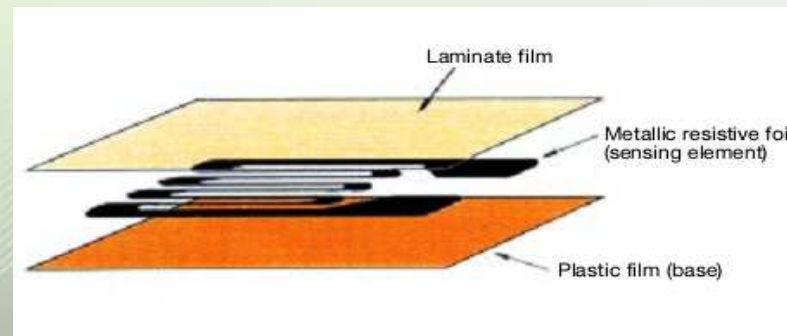


INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Extensometria

A extensometria é o método que relaciona tensões mecânicas e deformações em corpos submetidos a solicitações mecânicas (VICTOR e ADEMAR, 2014, p.2);

- Desse modo, extensômetros ou *strain gages*, são dispositivos resistivos que, quando deformados sofrem uma variação na resistência proporcional a força aplicada. (PERBONI, 2015, p.2)







INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Extensometria

- Extensômetros de  $120\ \Omega$  uniaxiais foram fixados no corpo-de-prova;
- Para a fixação dos extensômetros ao corpo de prova, utilizou-se de adesivos epóxis, esse tipo de fixação apresenta algumas características interessantes, tais como
  - Alta resistência a tração;
  - Boa rigidez;
  - Alta resistência térmica;
  - Cura fácil;
  - Resistência a fluência;
- E algumas desvantagens:
  - Baixa resistência ao impacto;
  - Alto custo.

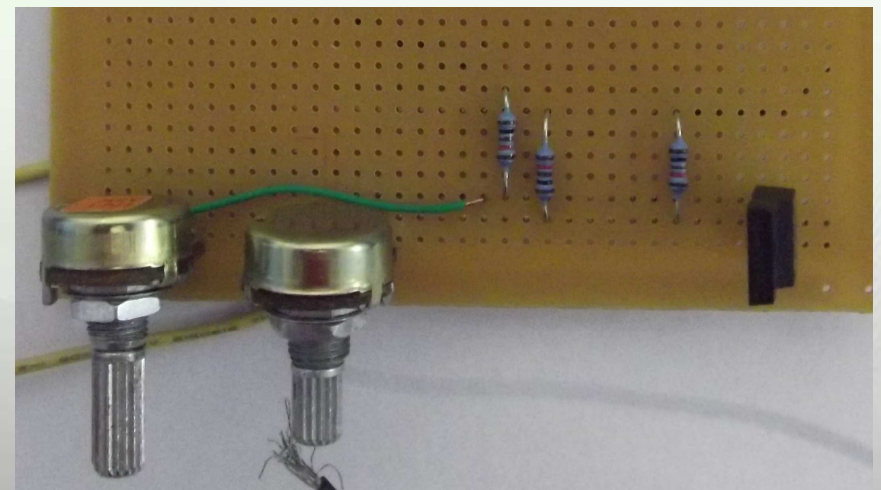
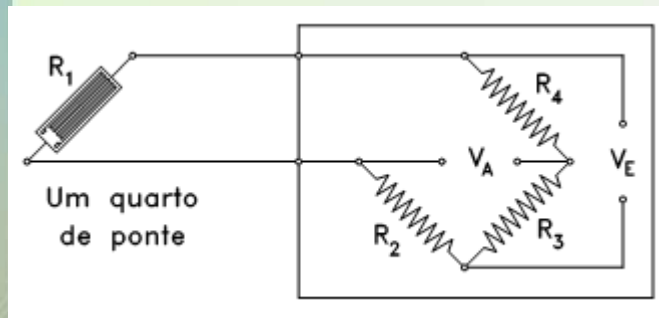




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Ponte de Wheatstone

- Necessário converter a variação de resistência em variação de tensão, para a leitura em placas de aquisição.
- As deformações no extensômetro acarretam em uma pequena variação na resistência do mesmo, o que provoca um desequilíbrio na ponte de Wheatstone, alterando proporcionalmente a tensão  $E_o$ . (VICTOR e ADEMAR, 2014, p.2).

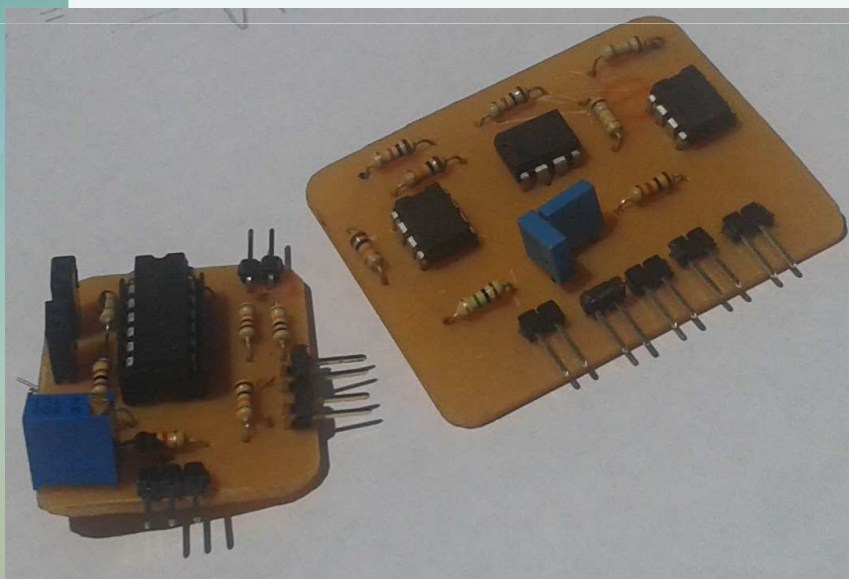




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Amplificação do Sinal

- Existem duas formas para amplificação de sinal:
- Circuitos com AMPOP;
- Conversor de Sinal;



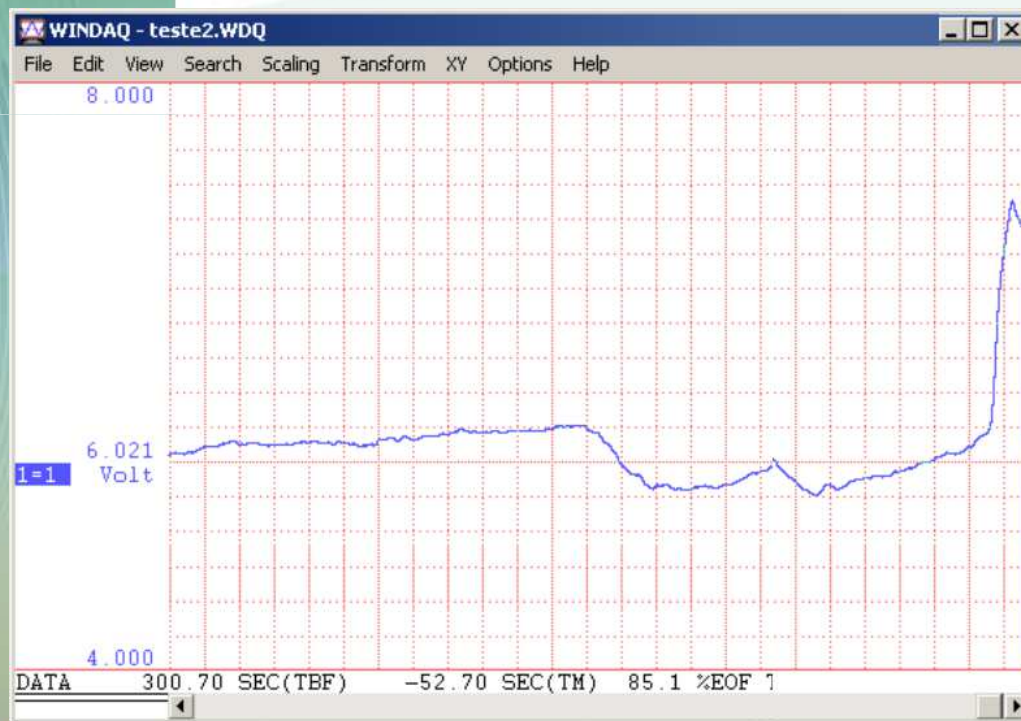




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Aquisição de Dados

- Para leitura do sinal da ponte de Wheatstone utilizou-se a placa **DATAQ DI-158U**;
- Software utilizado: WinDaq;



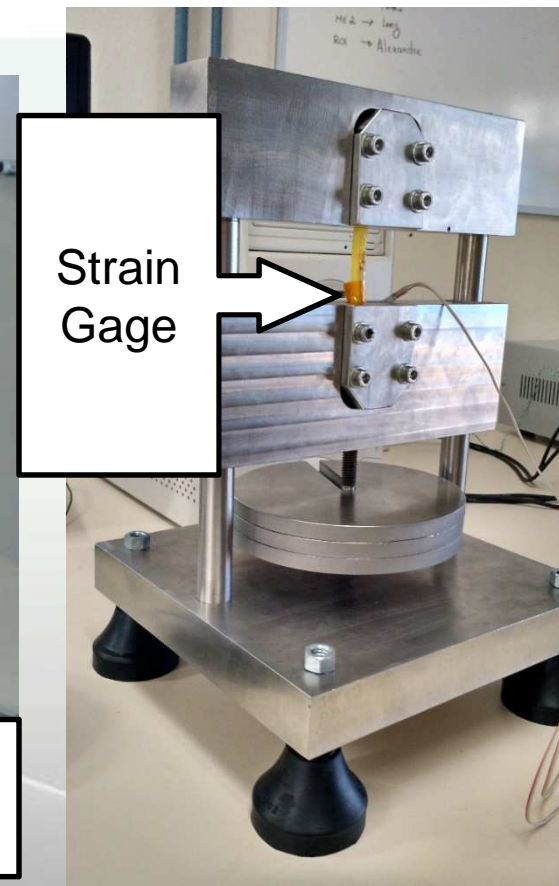
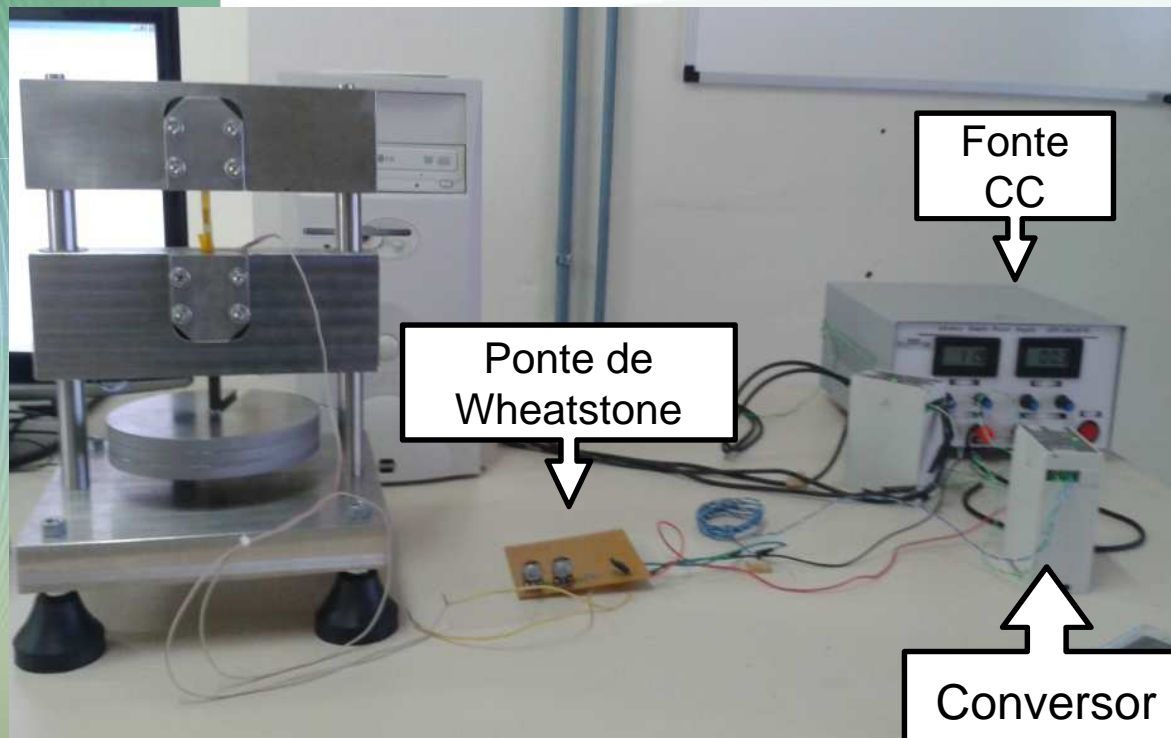




INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Aquisição de Dados

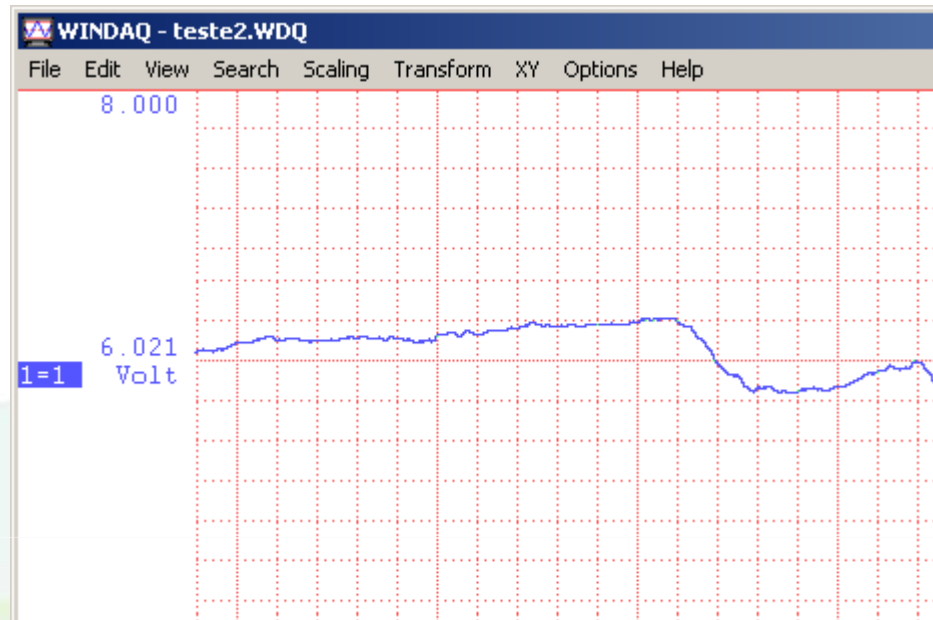
- Ensaios feitos sob temperatura controlada  $20^{\circ}(\pm 1)$ ;
- Instalação do software WinDaq;
- Quatro ensaios qualitativos realizados;





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Aquisição de Dados



- Necessidade de converter o sinal de saída de tensão elétrica em deformação;

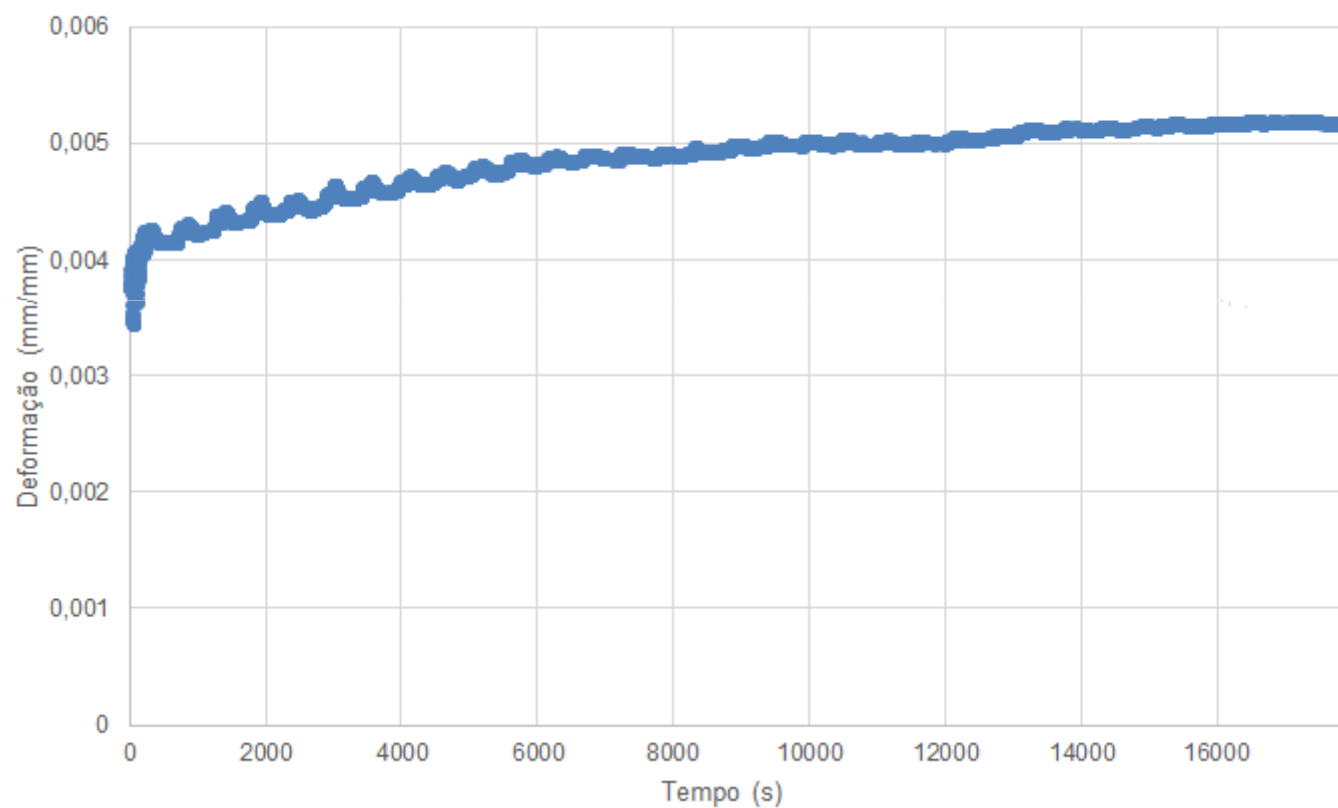
$$\bullet \varepsilon = \left( \frac{V_{ex}}{V_0 / \text{gain}} \right) * \left( \frac{1}{F} \right)$$



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Ensaio de Fluência

Amostras por Segundo





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Conclusão

- É viável desenvolver um dispositivo simples e de baixo custo para realizar ensaios de fluência;
- Foi possível aplicar e aprimorar os conhecimentos do curso de tecnologia em mecatrônica industrial;





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Conclusão

## Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar ensaios em uma câmara com controle preciso de temperatura;
- Implementar um clip gage, que diminui a quantidade necessária de extensômetros;
- Aumentar quantidade de pesos mortos afim de obter resultados em menor tempo.

# Referencial Teórico

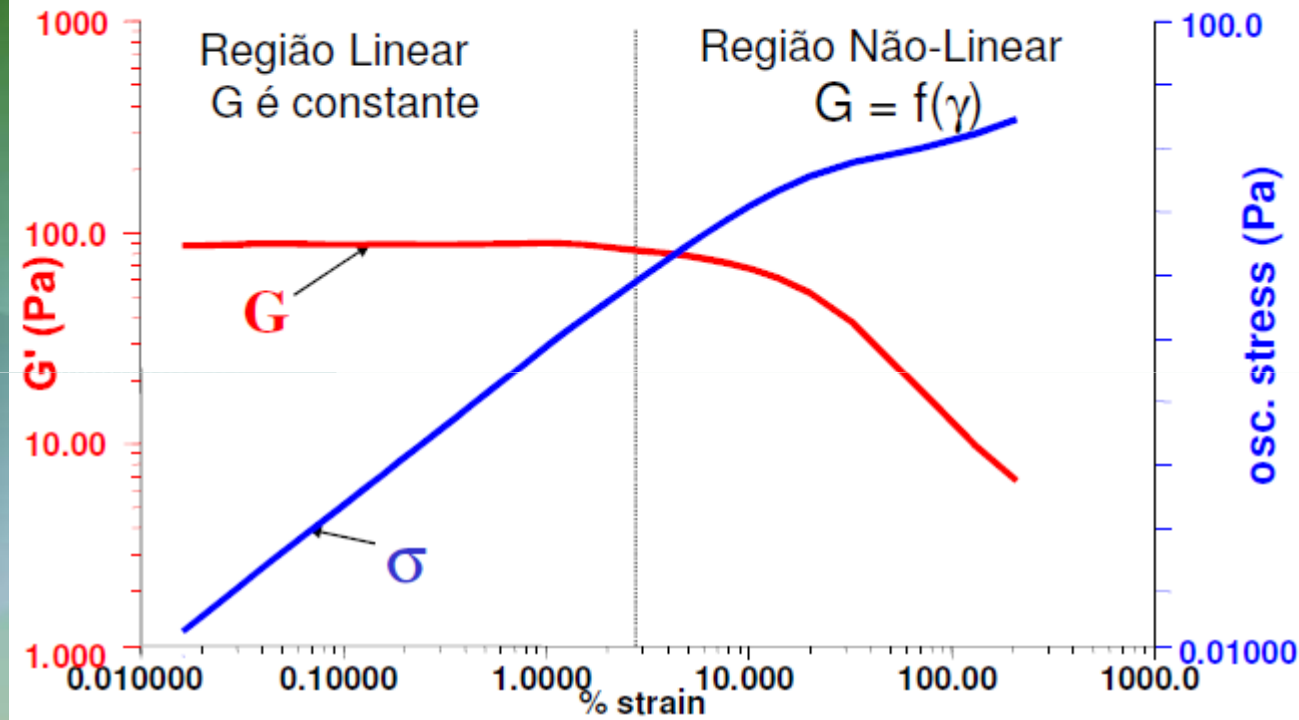
- CANEVAROLO Jr.; SEBASTIÃO V. Ciência dos Polímeros - Um Texto Básico para Tecnólogos e Engenheiros. Artliber Editora. São Paulo, 2002.
- DIETER, G. E. Metalurgia Mecânica. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981.
- FILHO, R. M. B. Polímeros. Disponível em: (Erro! A referência de hiperlink não é válida. [faculdadeinap.edu.br/materiais%20e%20tecnologia/polimeros.pdf](http://faculdadeinap.edu.br/materiais%20e%20tecnologia/polimeros.pdf)) - Acesso em 23 fev. 2015.
- GGB BEARING TECHNOLOGY. Mancais Autolubrificantes. Disponível em: ([http://www.kingcomercial.com.br/DB\\_pt2010.pdf](http://www.kingcomercial.com.br/DB_pt2010.pdf)) – Acesso em 14 abril 2015.
- HEMAIS, C. A. Polímeros e a Indústria Automobilística. Disponível em: (<http://www.revistapolimeros.org.br/PDF/v13n2a04.pdf>) - Acesso em 16 fev. 2015.
- HIPER METAL. Polietileno PEAD. Disponível em: ([http://www.hipermetal.com.br/site/produtos/plasticos\\_industriais/Polietileno.pdf](http://www.hipermetal.com.br/site/produtos/plasticos_industriais/Polietileno.pdf)) - Acesso em 16 fev. 2015.
- INTERPLAST GHANA. Text Technical HDPE 73. Disponível em: ([http://www.interplastghana.com/pgs/portugese/Text%20Technical%20HDPE%2073\\_POR.pdf](http://www.interplastghana.com/pgs/portugese/Text%20Technical%20HDPE%2073_POR.pdf)) - Acesso em 16 fev. 2015.
- MESSPHYSIK, M. T. Product Information. Disponível em: (<http://www.zwick.net.br/br/produtos>) – Acesso em 03 Maio 2015.
- MORAES, W. A. Elasticidade e Plasticidade avaliada através do ensaio de tração. Disponível em: (<http://cursos.unisanta.br/mecanica/ciclo8/anexo1-tracao.pdf>) - Acesso em 03 abril 2015.
- NEO, A. I. ; FAVARETTO, F. Projeto conceitual: O projeto da “Forma” do produto. Disponível em: ([http://paginapessoal.utfpr.edu.br/iarozinski/publicacoes/Projeto%20conceitual.pdf/at\\_download/file](http://paginapessoal.utfpr.edu.br/iarozinski/publicacoes/Projeto%20conceitual.pdf/at_download/file)) – Acesso em 07 jun. 2015.
- NETO, N. J. R. A Evolução dos Polímeros na Indústria Automobilística. Disponível em: ([http://fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/nuplas/dissertacoes/TCCs1sem-2012/TCC\\_Nelson\\_João.pdf](http://fatecsorocaba.edu.br/principal/pesquisas/nuplas/dissertacoes/TCCs1sem-2012/TCC_Nelson_João.pdf)) - Acesso em 16 fev. 2015.
- PEREIRA, J. B. Visão Geral do Processo de Desenvolvimento de Produtos. Disponível em: (<http://www.joinville.ifsc.edu.br/~josue/AULA%20A%20PDP%C3VISA1O%20GERAL.pdf>) - Acesso em 31 mar. 2015.
- PINHO, S. T. Viscoelasticidade. Disponível em: (<http://www.fe.up.pt/~ldinis/viscoelasticidade.pdf>) - Acesso em 02 mar. 2015.
- PRICKEN, M. Disponível em: (<http://www.processocriativo.com/matriz-morfologica/>) – Acesso em 08 jun. 2015.

- Polímeros e Materiais Poliméricos. Disponível em: (<http://educa.fc.up.pt/ficheiros/noticias/69/documentos/108/Manual%20Pol%20A1meros%20e%20Materiais%20polimericos%20NV.pdf>) - Acesso em 23 fev. 2015.
- SANDVIK. Alumínio e materiais não ferrosos. Disponível em: [http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/parting\\_grooving/how-to-achieve-good-component-quality/parting-and-grooving-in-different-materials/aluminum-and-non-ferrous-materials/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/parting_grooving/how-to-achieve-good-component-quality/parting-and-grooving-in-different-materials/aluminum-and-non-ferrous-materials/pages/default.aspx). Acesso em 25 maio 2015.
- SARTORI, S. Modelo de Kano para a Identificação de Atributos Capazes de Superar as Expectativas do Cliente. Disponível em: <http://www.producaoonline.org.br/rpo/article/viewFile/186/495>. Acesso em 06 jun. 2015.
- SNYDER TIMOTHY. Aluminum vs. Steel: Advantages and Disadvantages. Disponível em: <http://www.murraymh.com/aluminum-vs-steel-advantages-and-disadvantages/>. Acesso em 25 maio 2015.
- SOUZA, A. M.C.; DEMARQUETTE N. R. Comportamento Viscoelástico Linear e Morfologia de Blendas PP/HDPE. Disponível em: (<http://www.scielo.br/pdf/po/v11n4/8981.pdf>) - Acesso em 25 fev. 2015.
- WASILKOSKI, C. M. Comportamento Mecânico dos Materiais Poliméricos. Disponível em: (<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/tese/013.pdf>) - Acesso em 02 mar. 2015.



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

# Tensão/ Deformação Linear e Não-Linear



## VISCOELASTICIDADE LINEAR

*As magnitudes de tensão e deformação estão relacionadas linearmente;*

Bill Graessley

## VISCOELASTICIDADE NÃO-LINEAR

*As deformações que ocorrem no material variam tanto com o tempo como com a tensão aplicada.*

WASILKOSKI, C. M.



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

Requisitos de projetos	Valor Meta	Sensor	Observações
LAYOUT AMIGÁVEL	10	Nº de componentes	Nº MÁXIMO DE COMPONENTES MONTADOS
FÁCIL ACOPLAMENTO DO CORPO DE PROVA	2	Minutos	TEMPO DE ACOPLAMENTO
BAIXO PESO	12	Kg	PESO MÁXIMO DO CONJUNTO
BAIXO CUSTO	980	Reais	CUSTO MÁXIMO
FÁCIL DE USINAR	7	Dias	TEMPO DE USINAGEM
NÃO SOFRE OXIDAÇÃO	5	Anos	TEMPO DE VIDA EM BOM ACABAMENTO





INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

Requisitos de projetos	Valor Meta	Sensor	Observações
LIVRE DE ARSTAS CORTANTES	18	Arestas	QUANTIDADE DE ARESTAS VIVAS
AQUISIÇÕES DE DADOS PRECISAS	0,01	Ohm	INCERTZA DE MEDIÇÃO DO SISTEMA ELETRÔNICO
SEGUE A NORMAS DA NR12	3	EPI's	NÚMERO DE EPI'S NECESSÁRIOS PARA OPERAÇÃO
FÁCIL DE MONTAR	8	Minutos	TEMPO DE MONTAGEM
PORTÁTIL	12	Kg	PESO
MANUTENÇÃO/ LUBRIFICAÇÃO BARATA	200	R\$	PREÇO MÁXIMO



Requisitos de projetos	Valor Meta	Sensor	Observações
BOM ACABAMENTO	20	Superfícies	NÚMERO DE SUPERFÍCIES PINTADAS
NORMAS DIN	80	percentual	PERCENTUAL DO NÚMERO TOTAL DE COMPONENTES
ROSCAS MÉTRICAS	80	percentual	PERCENTUAL DO NÚMERO TOTAL DE ROSCAS
MEDIDAS EM MILÍMETROS	90	percentual	PERCENTUAL DO NÚMERO TOTAL DE COTAS
COLUNAS GUIAS COM AJUSTE DESLIZANTE	0,2	mm	TOLERÂNCIA DIMENSIONAL
PROGRAMAS	12	meses	TEMPO DE



INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

Requisitos de projetos	Valor Meta	Sensor	Observações
PLACAS DE BAIXO CUSTO	150	R\$	PREÇO MÁXIMO
CÉLULA DE CARGA PARA MAIOR PRECISÃO	0,1	g	INCERTEZA DE MEDIÇÃO
PEQUENO PORTE	0,15	mm <sup>3</sup>	VOLUME TOTAL DA MÁQUINA
REPETIBILIDADE	0,1	mm	PRECISÃO DIMENSIONAL
AJUSTÁVEL	250	mm	CURSO BASE DE FIXAÇÃO
DETALHADO	7	Número de peças detalhadas	Nº DE DETALHAMENTOS DOS COMPONENTES
CRIATIVO	4	Quantidade de peças inovadoras	Nº DE PEÇAS INOVADORAS