

# DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA ENSAIOS MECÂNICOS DE TORÇÃO

Lucas Borges Guimarães<sup>1</sup>

Diogo Batista Fernandes<sup>2</sup>

## 1 INTRODUÇÃO

Os ensaios mecânicos determinam as propriedades de um material metálico, como a ductilidade, que é a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura. Esses ensaios são geralmente destrutivos, por promover a inutilização do corpo de prova, porém, podem ser utilizados para o estudo do comportamento dos componentes de um equipamento, que está sujeito a qualquer carga, como: tração, compressão ou torção, em condições similares às das operações industriais.

Para que, os resultados dos ensaios mecânicos possam ser significativos, é necessário seguir um padrão de dimensão e forma do corpo de prova, uma velocidade padrão para cada dimensão exigida, e seguir o fluxograma do processo padronizado, de acordo com as normas técnicas em vigor da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelecidas de acordo com um consenso entre pesquisadores e profissionais da área, que estabelecem regras, diretrizes, características e orientações sobre determinado material, produto, processo ou serviço, visando aumentar a produtividade e qualidade do produto final.

O ensaio mecânico de torção é um esforço aplicado em sentido de rotação até o rompimento do corpo de prova, que é submetido a um momento de torção ao longo do eixo longitudinal. Nesse ensaio os corpos de prova são geralmente barras de seção circular, o equipamento utilizado para esse ensaio possui uma extremidade com uma cabeça giratória submetida a um esforço de rotação, e outra extremidade é mantida fixa.

O objetivo do ensaio de torção é analisar o comportamento do corpo de prova de maneira linear-elástica, verificando sua deformação por rotação, a carga que irá suportar até seu rompimento e seus limites de tensão, proporcionando um estudo do melhor material a ser usado e uma vida útil maior a componentes mecânicos em equipamentos

---

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

<sup>2</sup> Professor da Universidade de Rio Verde – Orientador

que estão sujeitos a uma carga de torção. Para isso, é utilizado um transdutor de força denominado Célula de Carga, que transforma uma grandeza física (força) em um sinal elétrico através de sensores fixados, aplica-se uma carga mecânica, o sistema se deforma, então, a informação é transmitida ao sensor.

O método de ensaio de torção simples para arames de aço de 0,4mm à 10mm pode ser normalizado através da NBR 6004, que descreve o processo básico e padrão para conseguir maior precisão dos resultados obtidos.

O projeto tem como tema o desenvolvimento de um mecanismo para ensaios mecânicos de torção, com base em uma pesquisa bibliográfica e reforçada por um experimento prático. O objetivo é desenvolver o mecanismo em forma de bancada didática, com um custo relativamente baixo. A escolha do tema foi motivada devido ao grande número de falhas em equipamentos industriais, submetidos a esforços de torção.

É um ensaio relativamente simples, será usada a norma regulamentadora NBR 6004, como método para ensaio de torção simples para verificar a ductilidade de arames de aço, com diâmetro maior ou igual a 0,4 mm e geralmente não superior a 10 mm. O mecanismo tem características de um equipamento comum para o ensaio exigido, porém na parte fixa onde é feita a leitura através da célula de carga, será aproveitado o mecanismo de leitura de carga, para teste de potência e torque em motores a combustão, cujo nome é denominado dinamômetro, portanto, o teste somente poderá ser realizado em corpos de prova que sejam fabricados com materiais dúcteis ou materiais frágeis com diâmetro superior ao dos materiais dúcteis, para que o mecanismo consiga uma leitura mínima, em relação ao peso/força exigida do acoplamento até a célula de carga. Nesse caso o dinamômetro terá um acoplamento que não permite a rotação do eixo, proporcionando a leitura da carga até a ruptura do corpo de prova.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 NORMALIZAÇÃO**

A normalização em um contexto geral é de fundamental importância, para garantir alguns objetivos específicos. Desde a antiguidade existem registros de grandes passos de ações tendentes a definir, unificar e simplificar processos, produtos e serviços (ALMACINHA, 2016). Normalizar é padronizar determinado processo, para assegurar uma qualidade desejável.

Segundo o Instituto Português da Qualidade (2009), os objetivos da normalização dependem da definição, podendo ser um ou mais objetivos específicos, assegurando aptidão, limitando as variedades e ter compatibilidade, intermutabilidade, segurança e proteção ao ambiente (IPQ, 2009).

Com a normalização pode-se garantir diversos benefícios para humanidade, dando soluções comuns a problemas repetitivos, adequação dos produtos, processos e serviços, facilitando a cooperação tecnológica entre os países, simplificação e redução de tempo do projeto, economia da matéria prima e do tempo de produção e uma melhor organização e coordenação do processo produtivo, garantir maior eficácia e reduzindo os fatores de variação, proporcionar segurança, permitir a proteção da vida e da saúde de forma a promover meios mais eficazes para aferir a qualidade dos produtos (IPQ, 2009).

## **2.2 ENSAIO DE TORÇÃO**

De acordo com Sergio Souza (1982), é de grande importância os ensaios mecânicos, sendo possível obter dados ou elementos numéricos que podem ser utilizados no cálculo das tensões de trabalho e no projeto de uma peça, medir a resistência e a ductilidade dos materiais em diversas condições de operações e podem também servir para comparação de um único corpo de prova com materiais distintos (SERGIO SOUZA, 1982).

Os ensaios mecânicos são realizados pela aplicação, em um corpo de prova, de um dos tipos de esforços possíveis (tração, compressão, flexão, torção, cisalhamento e pressão interna) determinando a resistência do material a cada tipo de um desses esforços (SOUZA, 1982).

O ensaio mecânico mais adequado dependerá da finalidade do corpo de prova em questão, dos tipos de esforços que o mesmo vai sofrer e das propriedades mecânicas que se deseja medir (SOUZA, 1982).

O ensaio de torção é de realização relativamente simples, é um esforço mecânico aplicado em sentido de rotação, mas muitas vezes o material não suporta esse esforço e acaba se rompendo, fornecendo dados importantes sobre as propriedades mecânicas do corpo de prova, realizado para peças que na prática recebem esforços de torção, como molas em espiral, barras de torção, parafusos, brocas, entre outras (PAULO NETO, 2013).

O equipamento para esse ensaio possui uma cabeça giratória que prende uma extremidade do corpo de prova, onde geralmente fica a célula de carga para se aplicar o momento de torção, e outra fixa (PAULO NETO, 2013).

O corpo de prova apresentará fraturas de acordo com suas propriedades mecânicas, como podemos visualizar a seguir.

### 2.3 TIPOS DE FRATURA

Os aspectos das fraturas variam conforme o corpo de prova seja feito de material dúctil ou frágil, segundo Jack C. Rich (1988) a ductilidade é uma propriedade que representa o grau de deformação que o material sofre até o momento de sua fratura, materiais que suportam pouca ou nenhuma deformação em um ensaio mecânico, são considerados frágeis (RICH, 1988).

Como podemos ver na figura 1 abaixo, os materiais dúcteis, na torção, a secção rompida do corpo de prova é perpendicular ao eixo do corpo de prova, não há estricção, já o material frágil, a secção rompida apresenta forma de hélice, igualmente sem sinais de estricção. O corpo de prova sujeito a torção tem as tensões máximas de cisalhamento situadas em dois planos perpendiculares entre si, sendo um deles perpendicular e o outro longitudinal ao corpo de prova, as tensões principais fazem um ângulo de  $45^\circ$  com o eixo longitudinal do corpo de prova, são também perpendiculares entre si e são iguais em módulo às tensões de cisalhamento (SOUZA, 1982).

Figura 1 – Tipos de Fratura



Fonte: SOUZA (1982)

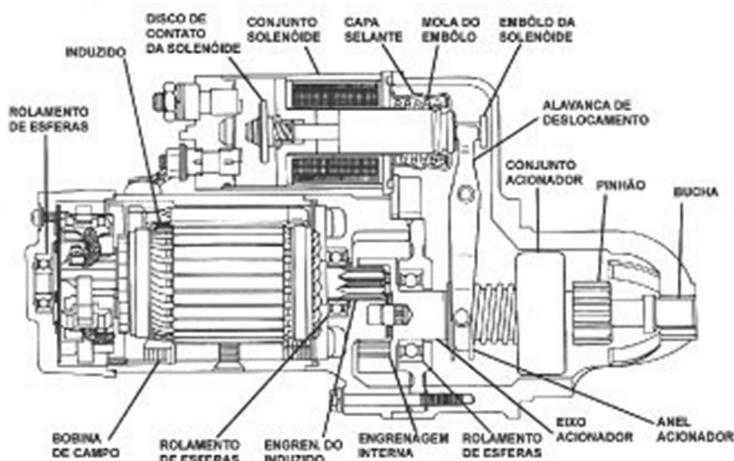
Para que os resultados obtidos sejam validados, é necessário que o corpo de prova e o ensaio siga um fluxograma rigoroso, afim de evitar que qualquer meio externo, possa influenciar de forma irregular. Para isso é necessário utilizar um motor elétrico de alta rotação, controlar a rotação do ensaio, e utilizar ferramentas que mantenham o torque sem perder potência.

## 2.4 MOTOR ELÉTRICO

Segundo Gionei da Rocha (2009), os motores elétricos são máquinas que combinam força de interação eletromagnética para induzir um eixo central a rotação gerando força e velocidade, são basicamente constituídos por um conjunto de peças montados em uma carcaça de metal, praticamente todos os motores elétricos possuem as mesmas peças, mudando somente o tamanho conforme o tamanho do motor e os resultados finais esperados. Suas principais peças são: bobina de campo, que geralmente fica ligada na carcaça na parte interna, podendo ser um ímã ou eletroímã, outra peça principal é o induzido, que é o eixo central do motor, como o nome já diz, esse componente é induzido a rotacionar devido a relação dos campos magnéticos à ele, como pode ser observado na figura 2 abaixo (ROCHA, 2009)

Quando alimentado, por corrente elétrica, a bobina de campo começa a gerar um campo magnético ao redor do enrolamento, devido a corrente que circula no mesmo. Através das escovas de grafite que deslizam no coletor do induzido há uma circulação também de corrente elétrica pelo rolamento do induzido, isso faz criar outro campo magnético. Os campos magnéticos da bobina e do induzido combinam-se convenientemente, hora se atraindo hora repelindo, então, o induzido apoiado em rolamentos começa a girar (ROCHA, 2009).

Figura 2 – Partes de um motor elétrico



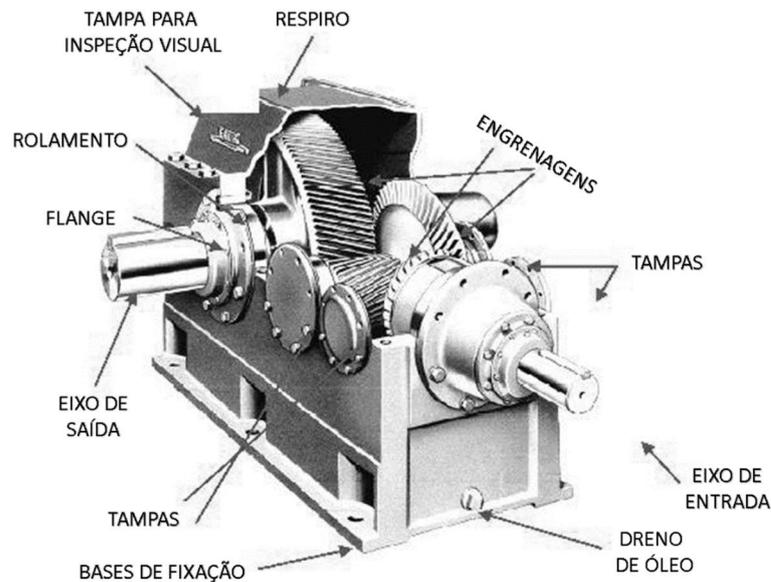
Fonte: ROCHA (2009)

## 2.5 REDUTOR DE ROTAÇÃO

Os motores elétricos geralmente não são acoplados diretamente ao dispositivo à serem utilizados, existindo uma necessidade de modificar algumas propriedades tais como: rotação, velocidade e torque, então é usa-se os redutores de rotação (ANDRADE, 2011).

Na figura 3 podemos observar o redutor de rotação, que consiste em um conjunto de eixos e engrenagens cilíndricas de dentes retos, helicoidais, cônicas ou somente com uma coroa sem fim, com o objetivo de reduzir a rotação, e com a consequência de aumentar o torque. A parte principal de um redutor de rotação são as engrenagens, sua carcaça é de chapa de aço de baixo carbono ou ferro fundido, geralmente é utilizada engrenagens helicoidais com o objetivo de diminuir as vibrações e ruídos (ANDRADE, 2011).

Figura 3 – Partes de um redutor de rotação



Fonte: ANDRADE (2011)

## 2.7 INVERSOR DE FREQUENCIA

O inversor de frequência é um dispositivo eletrônico capaz de variar a velocidade de rotação de um motor de indução elétrica, transformando corrente elétrica alternada fixa (corrente e tensão) em corrente elétrica alternada variável, controlando a potência

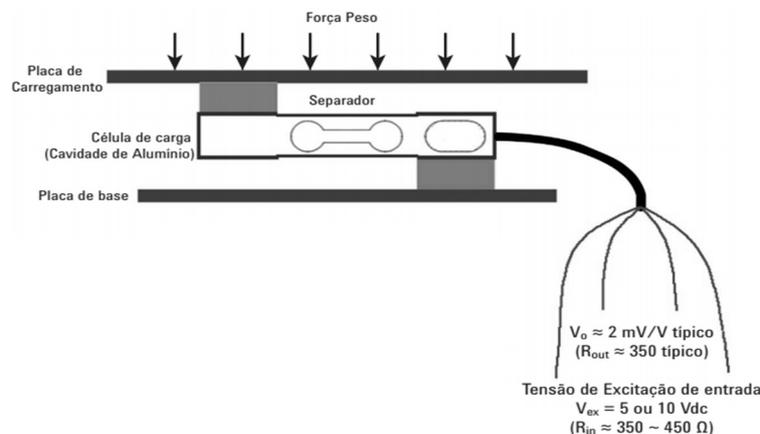
consumida pela carga através da variação da frequência entregue pela rede elétrica. A velocidade de um motor elétrico é diretamente proporcional à frequência da rede elétrica, ou seja, a velocidade síncrona em rpm, (é o produto de 120 vezes a frequência da rede elétrica em Hz, dividido pelo número de polos do motor elétrico), assim podemos alternar facilmente a velocidade com a qual o motor irá trabalhar. O inversor atua mudando a frequência elétrica na entrada do motor, conseqüentemente alterando a frequência de saída do motor, sendo diretamente proporcional. Permitindo que se possa explorar o funcionamento do motor elétrico em condições não descritas nas suas características construtivas (ROCHA, 2009).

Outras vantagens da utilização do inversor de frequência são: substituição de variadores mecânicos e eletromagnéticos, automação, segurança e flexibilidade em processos industriais, simples instalação e programação, diminuição de choques mecânicos na partida do motor, precisão de processos, menos intervenção humana, maior economia de energia elétrica e maior durabilidade de engrenagens, polias e outros componentes mecânicos (ROCHA, 2009).

## 2.8 CELULA DE CARGA

A célula de carga é um aparelho eletrônico que converte força em sinais elétricos através de uma caixa de junção, onde os cabos das células de cargas são terminados e somados. Cada célula de carga possui quatro fios, dois utilizados para dar excitação a célula e dois fornecem a leitura de tensão proporcional ao peso das células, as células de carga mais comuns são baseadas em extensômetros, como na figura 4 abaixo (AT, 2012).

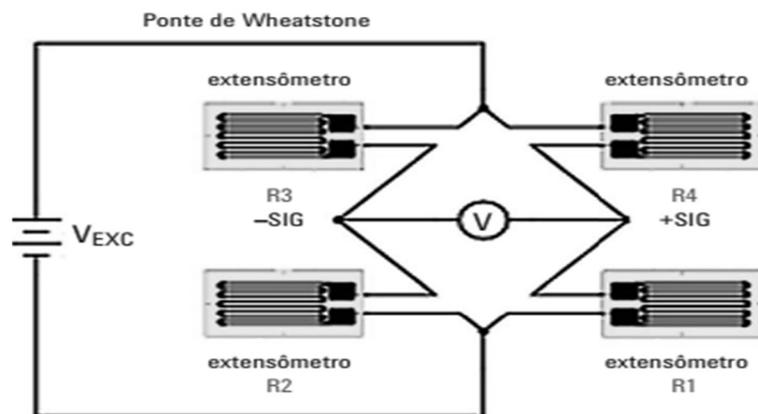
Figura 4 – Modelo de célula de carga



Fonte: GILENT (2012).

Existem quatro extensômetros na superfície interna da célula de carga, que formam a configuração de Ponte de Wheatstone. Quando a excitação é aplicada à célula de carga dois dos extensômetros são esticados e os dois outros são comprimidos. Os extensômetros que são esticados vão aumentar sua resistência, enquanto os comprimidos diminuem. Se nenhuma excitação for aplicada, as tensões de entrada e saída vão ser as mesmas  $+SIG = -SIG$ . Se for aplicada uma força, a ponte de extensômetros ficará desbalanceada aparecendo tensão entre as saídas  $+SIG$  e  $-SIG$  (AT,2012).

Figura 5 – Ponte de Wheatstone



Fonte: GILENT (2012)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na parte que sofre a rotação será utilizado um motor elétrico de 1CV e 1725RPM, uma redução de rotação de 1:30 para aumentar o torque, e um inversor de frequência com o intuito de variar a rotação para seguir a norma regulamentadora e evitar que qualquer aquecimento do corpo de prova possa influenciar nos resultados obtidos.

Foram utilizados mandris 3/8' para as garras de fixação, eixos de 1'' para apoiar a parte fixa e a parte que será rotacionada, dois mancais de rolamento com trava para manter o alinhamento do corpo de prova.

Para ler a carga aplicada em sentido de rotação será utilizada a estrutura de um dinamômetro, não foi calibrado devido à dificuldade de encontrar tabelas e informações sobre as tensões de cisalhamento dos materiais testados em sentido de rotação, então, para que o equipamento seja calibrado, é necessário testar o mesmo material em um

equipamento comum para ensaios mecânicos de torção. Por isso os testes realizados serão feitos com o intuito de verificar qual o material que tem propriedades mecânicas melhores do que o outro.

A bancada foi superdimensionada para evitar qualquer falha de componente durante o ensaio, e a rotação do equipamento está limitada de acordo com as tabelas supracitado.

As garras devem permanecer coaxiais e não provocam nenhuma flexão durante o ensaio, deve ser construída de forma que não tenha variações da distância entre as garras que o corpo de prova produz durante o ensaio (ABNT, 1984).

Enquanto uma extremidade se mantém fixa e permite o deslocamento longitudinal, a outra extremidade deve girar em torno do eixo do corpo de prova ensaiado, as garras devem ser reguláveis para diversos comprimentos e diâmetros dos corpos de prova (ABNT, 1984).

O corpo de prova não pode sofrer torção dentro das garras, para não danificar e se romper dentro das garras. O corpo de prova só deverá ser torcido em seu comprimento entre as garras. Deverá ter um mecanismo para contagem de rotações. A máquina para o ensaio deverá permitir aplicação de um esforço de tração apropriado para o corpo de prova (ABNT, 1984).

O corpo de prova deve ser mantido retilíneo antes do ensaio. Se for necessário o endireitamento, deve ser feito à mão, se não for possível utilizar martelo de madeira, cobre ou plástico e uma superfície plana do mesmo material (ABNT, 1984).

O comprimento nominal livre entre as garras da máquina deve corresponder aos valores da tabela 1 abaixo. Foi reduzido em um terço o comprimento nominal se comparado com o que foi estabelecido pela norma técnica, afim de adequar com a parte estrutural da bancada. Contudo não se observou nenhuma avaria aparente, em relação a deslizamento ou cisalhamento do corpo de prova nos pontos de fixação (garras).

**Tabela 1** – Comprimento nominal livre entre as garras

Dimensão nominal – d (mm)	Comprimento nominal livre entre as garras
$1 < d < 3,6$	$35 * d$
$3,6 < d < 5$	$17 * d$

Fonte: própria (2017)

O comprimento do corpo de prova entre as garras pode ser igual para qualquer bitola de arame, se a especificação do produto exigir (ABNT, 1984).

Se a especificação consiste em torcer o corpo de prova no mesmo sentido e em torno do seu eixo, até ruptura do mesmo ou até o número especificado de voltas (ABNT, 1984).

O corpo de prova é colocado na máquina de tal maneira que seu eixo longitudinal coincida com o eixo das garras e o mesmo permaneça retilíneo durante o ensaio. Salvo especificações em contrário, pode ser aplicado sobre o corpo de prova um esforço de tração constante, suficiente para mantê-lo retilíneo, mas que não seja superior a 2% do limite de resistência à tração nominal do arame considerado (ABNT, 1984).

Quando estiver colocado o corpo de prova, inicia-se o ensaio à uma velocidade o mais constante possível, até o número de voltas especificado ou a ruptura do corpo de prova. Considera-se somente o número de voltas completas que a garra girar (ABNT, 1984).

Para evitar que o aquecimento influencie nos resultados, deve-se controlar a velocidade do ensaio, o ensaio será efetuado a uma temperatura ambiente e não pode definitivamente ser ultrapassado os valores da tabela 2 abaixo (ABNT, 1984). Com intuito de não sobrecarregar a estrutura da bancada, não foram executados testes com corpos de prova com diâmetros de 5 à 10mm. Também não foram realizados testes com uma rotação de 180RPM exigidos para os corpos de prova com diâmetros de 0,4 a 1mm, devido as limitações do equipamento.

**Tabela 2** – Velocidade do ensaio

Dimensão nominal – d (mm)	Número de voltas por minuto para os comprimentos livres entre as garras especificados em 3.2.2 (RPM)
$1 < d < 3,6$	60
$3,6 < d < 5$	30

Fonte: ABNT (1984)

Caso o número de voltas satisfaça as especificações, pode-se considerar o resultado válido, independente do lugar em que o corpo de prova se rompeu. Se a rotação não for conforme a tabela especificada e se o corpo de prova se romper a menos que duas vezes o diâmetro de uma das garras, o ensaio terá que ser repetido (ABNT, 1984).

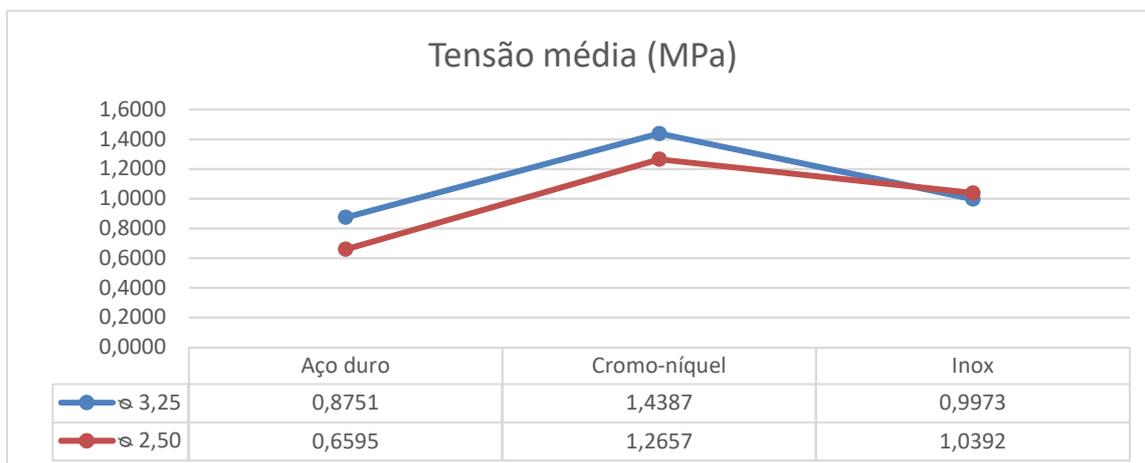
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 3 abaixo apresenta a carga suportada do material até seu cisalhamento por torção, foi feita uma média dos testes realizados com o mesmo material e bitola, com o intuito de elaborar o gráfico 1 abaixo, que represente o comportamento médio do mesmo e para poder verificar qual material teve maior resistência e dureza durante o ensaio.

**Tabela 3** – Tensão média (MPa)

Material	Sequência de teste	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Rotação (RPM)	Carga suportada (Kg)	Tensão (MPa)	Tensão média (MPa)
Aço duro	1	3,25	113,75	60	0,78	0,9224	
Aço duro	2	3,25	113,75	60	0,71	0,8396	0,8751
Aço duro	3	3,25	113,75	60	0,73	0,8632	
Cromo-níquel	4	3,25	113,75	60	1,12	1,3244	
Cromo-níquel	5	3,25	113,75	60	1,23	1,4545	1,4387
Cromo-níquel	6	3,25	113,75	60	1,3	1,5373	
Inox	7	3,25	113,75	60	0,83	0,9815	
Inox	8	3,25	113,75	60	0,84	0,9933	0,9973
Inox	9	3,25	113,75	60	0,86	1,0170	
Aço duro	10	2,5	87,5	60	0,32	0,6395	
Aço duro	11	2,5	87,5	60	0,34	0,6795	0,6595
Aço duro	12	2,5	87,5	60	0,33	0,6595	
Cromo-níquel	13	2,5	87,5	60	0,64	1,2790	
Cromo-níquel	14	2,5	87,5	60	0,65	1,2990	1,2657
Cromo-níquel	15	2,5	87,5	60	0,61	1,2191	
Inox	16	2,5	87,5	60	0,5	0,9992	
Inox	17	2,5	87,5	60	0,53	1,0592	1,0392
Inox	18	2,5	87,5	60	0,53	1,0592	

**Gráfico 1** – Tensão média (MPa)

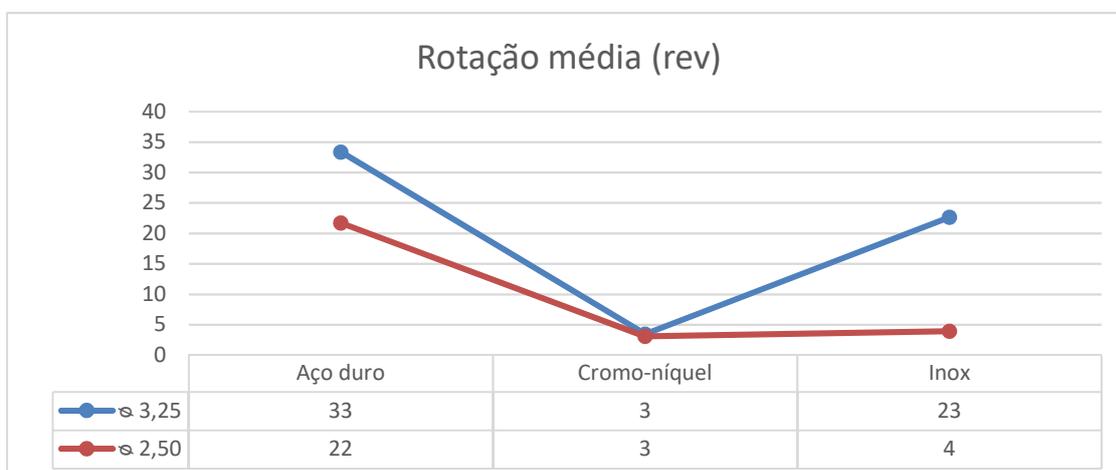


A tabela 4 abaixo apresenta a quantidade de rotação suportada pelo material até o momento do seu rompimento por torção, foi feita uma média dos testes realizados com o mesmo material e bitola, com o intuito de elaborar o gráfico 2 abaixo, que representa o comportamento médio do mesmo e para poder verificar algumas propriedades mecânicas, o quanto o material é dúctil ou frágil.

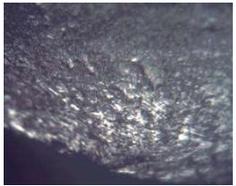
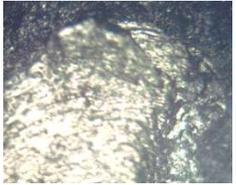
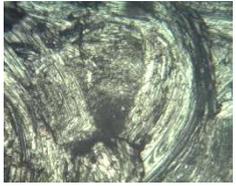
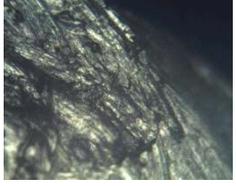
**Tabela 4 – Rotação média (rev)**

Material	Sequência de teste	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Rotação (rpm)	Tempo (s)	Rotações (rev)	Rotação média (rev)
Aço duro	1	3,25	113,75	60	32,83	33	
Aço duro	2	3,25	113,75	60	31,76	32	33
Aço duro	3	3,25	113,75	60	35,5	36	
Cromo-níquel	4	3,25	113,75	60	3,08	3	
Cromo-níquel	5	3,25	113,75	60	2,95	3	3
Cromo-níquel	6	3,25	113,75	60	4,45	4	
Inox	7	3,25	113,75	60	23,17	23	
Inox	8	3,25	113,75	60	24,34	24	23
Inox	9	3,25	113,75	60	20,48	20	
Aço duro	10	2,5	87,5	60	22,14	22	
Aço duro	11	2,5	87,5	60	22,72	23	22
Aço duro	12	2,5	87,5	60	20,31	20	
Cromo-níquel	13	2,5	87,5	60	3,27	3	
Cromo-níquel	14	2,5	87,5	60	2,82	3	3
Cromo-níquel	15	2,5	87,5	60	3,22	3	
Inox	16	2,5	87,5	60	4,13	4	
Inox	17	2,5	87,5	60	3,73	4	4
Inox	18	2,5	87,5	60	4,09	4	

**Gráfico 2 – Rotação média (rev)**



**Tabela 5 – Micrografias e observações finais**

		<p>Aço-Duro <math>\varnothing</math> 3,25 mm: Maior ductilidade e menor dureza em comparação com os outros materiais testados, micrografia com sinais de torção bastante visíveis.</p>
		<p>Cromo-Níquel <math>\varnothing</math> 3,25 mm: Menor ductilidade e média dureza em comparação com os outros materiais testados, micrografia demonstra que o material cisalhou antes de torcer por completo.</p>
		<p>Aço Inox <math>\varnothing</math> 3,25 mm: Média ductilidade e maior dureza em comparação com os outros materiais testados, micrografia apresenta sinais de flambagem.</p>
		<p>Aço-Duro <math>\varnothing</math> 2,5 mm: Maior ductilidade e menor dureza em comparação com os outros materiais testados, micrografia com sinais de torção bastante visíveis nas extremidades e pouco no seu centro.</p>
		<p>Cromo-Níquel <math>\varnothing</math> 2,5 mm: Menor ductilidade e média dureza em comparação com os outros materiais testados, micrografia demonstra que o material quase não torceu antes de cisalhar.</p>
		<p>Aço Inox <math>\varnothing</math> 2,5 mm: Média ductilidade e maior dureza em comparação com os outros materiais testados, micrografia apresenta bastante sinais de torção e um leve sinal de flambagem.</p>

Fonte: própria (2017)

## 4 CONCLUSÃO

**Figura 6** – Lateral da bancada



Fonte: própria (2017)

**Figura 7** – Frente da bancada



Fonte: própria (2017)

Os resultados obtidos comprovam que o mecanismo desenvolvido funciona para os devidos fins, sem que algum componente influencie em qualquer tipo de erro na leitura dos dados. Como os testes foram feitos para comparação de um único corpo de prova com materiais distintos, foi observado que os materiais se comportaram de forma praticamente linear em relação aos diferentes tipos de materiais/bitola. O cromo-níquel se mostrou mais frágil nos testes realizados, seguido do aço-duro e com maior ductilidade entre os materiais testados ficou o aço-inox, porém, foi o único material que teve sinais de flambagem na micrografia.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6003:1984 Método de ensaio de torção para arames de aço.** Disponível em:<<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=6590>>. Acesso em 7 de julho de 2016.

ALMACINHA, José António. **Introdução ao conceito de normalização em geral e sua importância na Engenharia.** Disponível em: <[http://www.inegi.up.pt/instituicao/ons/pdf/16\\_jasa-1\\_3v.pdf](http://www.inegi.up.pt/instituicao/ons/pdf/16_jasa-1_3v.pdf)>. Acesso em 10 de Julho de 2016.

ANDRADE, Alan Sulato de. **Elementos orgânicos de maquinas II AT-102.** Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT102-Aula04.pdf>>. Acesso em 10 de Julho de 2016.

AT, Agilent Technologies. **Resolvendo Problemas em Aplicações de Célula de Carga com a Solução de Conectividade Sem Fio da Agilent.** Disponível em: <<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-9941PTBR.pdf>>. Acesso em: 10 de Julho de 2016.

FREITAS, Anderson Rodrigo de. **Freio de Prony.** Disponível em: <[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem2\\_2009/AndersonR\\_Raggio\\_RF4.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2009/AndersonR_Raggio_RF4.pdf)>. Acesso em 28 de Maio de 2016.

IPQ, Instituto Português da Qualidade. **Manual de normalização.** Disponível em: <[http://www1.ipq.pt/PT/ProjectoJuventude/site/Manual\\_Normalizacao.pdf](http://www1.ipq.pt/PT/ProjectoJuventude/site/Manual_Normalizacao.pdf)>. Acesso em 10 de Julho de 2016.

Mundo da Eletrica. **Como funciona o inversor de frequência.** Disponível em <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-o-inversor-de-frequencia>>. Acesso em 31 de Maio de 2017.

NETO, Paulo. **Ensaio Mecânicos: Flexão e Torção.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfuewAE/ensaios-mecanicos-flexao-torca?part=2>>. Acesso em 15 de Maio de 2016.

PEREIRA, José Cláudio. **Dinamômetros Hidráulicos.** Disponível em: <<http://www.perfectum.eng.br/energia/dinos1.html>>. Acesso em 28 de Maio de 2016.

RICH, Jack C.. **The Materials And Methods Of Sculpture: Dover Art Inscution.** New York: Oxford University Press, 1947.

ROCHA, Gionei da. **Motores Eléricos**. Disponível em <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/07/motores-eletricos> >. Acesso em 31 de Maio de 2017.

RUCHERT, Cassius. **Introdução aos ensaios mecânicos dos materiais**. Disponível em:<[http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/234771/mod\\_resource/content/1/Aula%204%20%20Ensaio%20Tor%C3%A7%C3%A3o\\_Compress%C3%A3o%20V3.pdf](http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/234771/mod_resource/content/1/Aula%204%20%20Ensaio%20Tor%C3%A7%C3%A3o_Compress%C3%A3o%20V3.pdf)>. Acesso em 28 de Maio de 2016.

SOUZA, Sérgio. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/2143190/ensaios-mecanicos-de-materiais-metalicos---sergio-a-de-souza>>. Acesso em 14 de Maio de 2016.