

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**LINA GLORIA COSTA VIALTA**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE TORQUE EM ELEMENTO DE  
FIXAÇÃO POR PARAFUSOS**

**Taubaté - SP**  
**(2018)**

**LINA GLORIA COSTA VIALTA**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE TORQUE EM ELEMENTO DE  
FIXAÇÃO POR PARAFUSOS**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Mecânica do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade de  
Taubaté.

Orientador: Ivair Alves dos Santos

Coorientador: Fábio Henrique Fonseca  
Santejani

**Taubaté – SP**

**(2018)**

## FICHA CATALOGRÁFICA

### SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

V613e Vialta, Lina Gloria Costa  
Estudo da aplicação de torque em elemento de fixação por parafusos /  
Lina Gloria Costa Vialta. -- 2018.  
45 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de  
Engenharia Mecânica.

Coorientação: Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani,  
Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Elementos de fixação. 2. Resistência de parafusos. 3. Torque.  
I. Título. II. Graduação em Engenharia Mecânica.

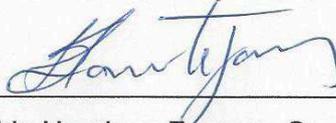
CDD – 531.34

LINA GLORIA COSTA VIALTA

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE TORQUE EM ELEMENTO  
DE FIXAÇÃO POR PARAFUSOS**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE ENGENHARIA  
MECANICA.

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



---

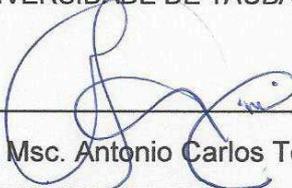
Prof. Msc. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



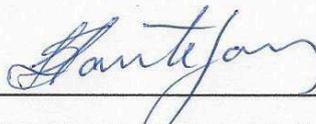
---

Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Msc. Antonio Carlos Tonini  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



---

Prof. Msc. Fábio Henrique Fonseca Santejani  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

(Dezembro, 2018)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que creem que a forma mais rápida de melhorar o mundo se dá por meio do conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados

Ao meu orientador, Prof. (Dr. Msc) Ivair Alves dos Santos e ao meu Coorientador Fábio Henrique Fonseca Santejani por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos meus familiares e amigos, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

## EPÍGRAFE

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende”.

(LEONARDO DA VINCI)

## RESUMO

O controle de grandezas de torque em sistemas e equipamentos vem se mostrando uma atividade de significativa importância no setor industrial uma vez que sua eficácia garante segurança e qualidade em projetos que empregam elementos de fixação como o parafuso de rosca. Entretanto a dicotomia de termos técnicos e científicos, devido ao seu emprego tanto em equipamentos como em trabalhos de pesquisa acadêmica envolvendo os conceitos físicos, reflete no desafio da compreensão da literatura existente, em especial para os novos profissionais como para os pesquisadores iniciantes. Assim o presente trabalho tem por objetivo oferecer uma revisão da literatura existente sobre a aplicação de torque em elemento de fixação por parafusos trazendo os diferentes termos empregados tanto em textos científicos como técnicos, que abordem os conceitos físicos fundamentais sobre torque bem como sua aplicação na indústria por meio do estudo da resistência em parafusos. A metodologia empregada foi a pesquisa qualitativa e descritiva, percorrendo através da revisão bibliográfica de fontes e referências registradas nos últimos vinte e cinco anos. Deste estudo bibliográfico observou-se a variedade de termos encontrados tanto na literatura científica como tecnicistas, assim como foi possível observar a necessidade de produção de material metodológico para futuras pesquisas já que o meio tecnológico apresentou constantes processos de inovação, oferecendo equipamentos modernos para leitura e controle de torque, entretanto os embasamentos científicos mostraram-se como um pano de fundo, sem maiores detalhamentos, o que pode dificultar futuras pesquisas para o acadêmico iniciante.

**Palavras-chave:** torque; elementos de fixação; resistência de parafusos

## **ABSTRACT**

The torque values in control systems and equipment has been showing a significant activity in the manufacturing sector since your effectiveness ensures safety and quality in projects that employ fasteners as threaded screw. However, the dichotomy of scientific and technical terms, because of your job both in equipment such as academic research work involving physical concepts, reflects on the challenge of understanding the existing literature, in particular for the new professionals as to the researchers. This study aims to provide a review of the existing literature on the application of torque to fastener screws bringing various terms employed both in scientific texts as technicians, to address the physical fundamental concepts as well as torque goes up your application in the industry through the study of resistance in screws. The methodology was qualitative and descriptive research, talking through literature review and references sources registered in the last twenty years. This bibliographical study it was observed the variety of terms found both in scientific literature as tecnicistas, just as it was possible to observe the need for production of methodological material for future research since the Middle introduced technological innovation processes constants, providing modern equipment for reading and torque control, however the scientific were ramming as a backdrop, without further details, which might hinder future academic research beginner.

**Keywords:** torque; fasteners; resistance of screws

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Ilustração de um sistema inercial de rotação .....   | 21 |
| Figura 2 – Expressões matemáticas que representam $I$ , em figuras geométricas mais simples .....                           | 23 |
| Figura 3 – Representação de uma situação comum de aplicação de torque .....   | 24 |
| Figura 4 – Representação do diagrama de forças sobre um corpo de massa $m$ que se movimenta em torno de um ponto fixo ..... | 25 |
| Figura 5 – Ilustração de um torquímetro de relógio .....  | 29 |
| Figura 6 – Ilustração de um torquímetro de vareta.....  | 30 |
| Figura 7– Ilustração de um torquímetro digital, Cleco I-Wrench.....   | 30 |
| Figura 8 – Ilustração das partes do parafuso .....  | 33 |
| Figura 9 – Regiões de parâmetros de união em elementos fixadores de rosca.....  | 37 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Classe de resistência em porcas.....                            | 21 |
| Tabela 2 – Classificação dos parâmetros de resistência para parafusos..... | 38 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|          |   |
|----------|---|
| MERCOSUL | Mercado Comum do Sul                      |
| ALCA     | Associação de Livre Comércio das Américas |
| EU       | União Europeia                            |
| OMC      | Organização Mundial do Comércio           |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|          |  |
|----------|--|
| F        | força N (Newton)   |
| m        | massa (Kg)   |
| a        | aceleração ( $m/s^2$ )   |
| $\tau$   | momento de força   |
| $\alpha$ | aceleração angular   |
| I        | inercia rotacional   |
| r        | raio (m)   |
| r        | é o vetor distância da força aplicada até o ponto fixo                   |
| LRT      | Limite de Resistência à Tração em MPa,                                   |
| LE       | Limite de Escoamento em MPa  |
| HRB      | Dureza Rockwell em caso de parafusos que não foram tratados termicamente |
| HRC      | Dureza Rockwell para parafusos temperados e revenidos.                   |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>15</b> |
| 1.1      | PROBLEMA.....   | 16        |
| 1.2      | OBJETIVOS.....  | 16        |
| 1.2.1    | Objetivos específicos.....  | 16        |
| 1.3      | Delimitação do estudo .....                                       | 16        |
| 1.4      | Relevância do estudo .....  | 17        |
| 1.5      | Organização do trabalho.....                                      | 17        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                | <b>17</b> |
| 2.1      | CONCEITO FUNDAMENTAL DE TORQUE.....                               | 18        |
| 2.1.1    | Tipos de Torque.....  | 26        |
| 2.1.1.1  | Torque Dinâmico .....   | 26        |
| 2.1.1.2  | Torque Estático.....  | 27        |
| 2.1.1.3  | Torque Falso .....  | 27        |
| 2.1.2    | Tipos de torquímetro.....   | 27        |
| 2.2      | ELEMENTOS DE FIXAÇÃO COM PARAFUSOS.....                           | 31        |
| 2.2.1    | Modelos de parafusos.....   | 34        |
| 2.2.1.1  | Parafuso sem porca.....   | 34        |
| 2.2.1.2  | Parafuso com porca.....   | 34        |
| 2.2.1.3  | Parafuso para pequenas montagens.....                             | 34        |
| 2.2.1.4  | Parafuso de chamada ou de reclamo .....                           | 34        |
| 2.2.1.5  | Parafuso de pressão.....  | 34        |
| 2.2.1.6  | Parafuso diferencial .....  | 34        |
| 2.2.1.7  | Parafuso prisioneiro.....   | 35        |
| 2.2.1.8  | Parafuso Allen .....  | 35        |
| 2.2.1.9  | Parafuso de fundação farpado ou dentado.....                      | 35        |
| 2.2.1.10 | Parafuso auto-atarraxante.....                                    | 35        |
| 2.3      | FORÇAS DE PROTENSÃO EM ELEMENTOS DE FIXAÇÃO.....                  | 35        |
| 2.3.1    | Influência do fator de capacidade na determinação do Torque ..... | 35        |
| 2.3.2    | Classificação de resistência.....                                 | 37        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>40</b> |
| <b>4</b> | <b>DISCUSSÃO .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>5</b> | <b>REFERENCIAS .....</b>  | <b>43</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Equipamentos em geral possuem juntas aparafusadas que são basicamente constituídas por um parafuso, um contra peça que sofrerá todas as forças resultantes do processo de aperto, uma arruela que protege a contra peça e uma porca, que possui rosca interna. O parafuso é um componente de grande importância, já que este promove união das partes para simples vedação ou sustentação de forças. Entretanto estabelecer a força correta necessária para que este processo ocorra sem rupturas de material e apresente uma eficiência desejada ou imposta por normas reguladoras é um desafio para a indústria e para os profissionais que empregam estes conceitos.

Historicamente o emprego de parafusos foi registrado em 400 a.C, onde o grego Arquidas projetou o primeiro parafuso, a fim de utiliza-lo em prensas para a extração de óleo de olivas e para a produção em maior escala de vinho. Com o passar dos anos, foram desenvolvidos padrões de produção e de controle de qualidade para os fixadores, tornando-os de uso universal.

Embora haja disponibilidade de artigos científicos e técnicos sobre o tema, observa-se uma cisão e especificidade terminológica bem como uma metodologia de apresentação do tema muito característica. Esta diversificação de termos e foco de pesquisa gera no pesquisador iniciante, ou no profissional recém-formado uma necessidade de adaptação em relação a esses termos e seus conceitos.

Assim o estado da arte buscou realizar uma revisão na literatura científica bem como em documentos como artigos técnicos especializados sobre os conceitos fundamentais intrínsecos ao processo de união de componentes empregando-se elementos de fixação por parafusos por meio de torque, trazendo ao leitor referências de cunho científico e tecnológico.

A metodologia empregada foi a pesquisa qualitativa descritiva realizada por meio da revisão bibliográfica das fontes e referências. Tendo como objetivo o levantamento da importância da correta aplicação do torque em parafusos de fixação na indústria.

Com o avanço tecnológico as atividades industriais que empregam momento de força para fixar seus componentes exigem tanto segurança como qualidade de seu produto envolvendo alguns parâmetros técnicos e legais como é o caso da análise de torque empregado em elementos de fixação de rosca.

## 1.1 PROBLEMA

A aplicação do torque correto em um elemento de fixação garantirá sua funcionalidade. Em um parafuso, cujo torque aplicado foi inferior ao necessário, poderá ocorrer o afrouxamento e a possível queda do mesmo. Conseqüentemente, pode haver mal funcionamento da máquina ou equipamento, o vazamento de fluídos, danos e possíveis acidentes, o que compromete a integridade e segurança do operador. Por outro lado, o excesso de torque em um parafuso poderá haver o rompimento do parafuso ou dos fios de roscas, ocasionando a separação da junta parafusada, o que leva as conseqüências parecidas com a de um parafuso mal apertado. Assim sendo, é extremamente importante saber o torque correto a ser aplicado em um parafuso.

## 1.2 OBJETIVOS

Realizar uma pesquisa literária sobre a importância da correta aplicação do torque em parafusos de fixação, devido a possíveis inconvenientes em componentes no qual não se fez correta aplicação do torque sobre os parafusos.

### 1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, foram delimitados três objetivos específicos, a saber:

- descrever os conceitos fundamentais de Torque
- caracterizar os elementos de fixação com parafusos
- descrever as forças de resistência que agem nos processos de torque em parafusos de rosca.

## 1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A delimitação do estudo empregado na presente pesquisa foi a revisão de literatura científica e tecnológica. O período dos artigos e teses pesquisados foram de trabalhos realizados nos últimos vinte e cinco anos anteriores à esta pesquisa. Tendo

como delimitação para o cálculo de resistência a aplicação de elementos fixadores com parafusos na indústria automobilística.

#### 1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A relevância da presente pesquisa se apoia no crescente desenvolvimento de equipamentos que empregam os conceitos de torque na sua aplicação e análise, seja este de qualidade ou controle dos parâmetros estabelecidos pela legislação. Apresentando ainda a importância da determinação de parâmetro para garantia de segurança em sistemas e maquinários que empregam elementos de fixação com parafusos rosqueados, como a resistência de parafusos, como é o caso da indústria automobilística que chega a utilizar até 15 mil parafusos em seus modelos de automóveis.

#### 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Tendo em vista o tipo de pesquisa escolhido, de revisão de literatura, o trabalho apresentou três capítulos específicos como desenvolvimento que buscaram oferecer bases literárias aos objetivos específicos propostos para a compreensão do tema abordado. Assim o primeiro capítulo ofereceu conceitos fundamentais físicos e matemáticos sobre o Torque, apresentando suas diferentes terminologias e empregos. No capítulo dois foram apresentados os conceitos sobre elementos de fixação com parafusos e tipos de parafusos mais utilizados na indústria. No capítulo três foram apresentadas as forças de pretensão em elementos de fixação de rosca, quais suas influências nos processos de capacidade e classificação de resistência de parafusos mais empregados na indústria. Sendo apresentada a metodologia contendo sua tipologia e bases de busca bibliográficas, partindo para as conclusões e considerações finais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a realização do estado da arte foi essencial a assimilação inicial de bibliografias relacionadas ao tema proposto. Assim como o conhecimento e reconhecimento de palavras e conceitos que nos remetam ao entendimento do texto e a ideia dos pesquisadores.

Para o autor Junior, F (2014) toda produção científica deve partir de um pressuposto, ou seja, toda pesquisa deve ter um embasamento teórico de trabalhos realizados anteriormente, sejam eles de caráter exploratório, explicativos ou revisional, assim a presente pesquisa partirá de ideias e conceitos já apresentados na literatura existente sobre os temas a que se referem pesquisa (CUPANI,2011).

Segundo Parra (2000) a elaboração de um trabalho científico, definido como monografia (neste caso TCC), exige do pesquisador iniciante um trabalho intenso, tendo em vista a busca de uma ou mais resposta de problemas propostos, onde essa busca se assemelha a uma garimpagem intelectual.

Desta forma a fundamentação teórica foi dividida em três tópicos distintos como se apresentarão a seguir.

## 2.1 CONCEITO FUNDAMENTAL DE TORQUE

A literatura científica e técnica possuem linguagens peculiares, de acordo com Hansen (2009) uma das dificuldades geradas por esta dicotomia é o emprego de diferentes nomes a um mesmo evento físico ou a um componente (objeto). Isso se verifica na literatura existente sobre os estudos da influência do torque nos seus mais diversos usos.

Assim segundo Hansen (2009) o leitor seja ele um profissional da área das engenharias ou um pesquisador, pode se confundir inicialmente com as diferentes terminologias. No setor industrial ou tecnológico o termo científico momento de força é mais comumente conhecido como Torque, onde a variável  $r$  na qual a força atua é às vezes alcunhado como braço de alavanca.

Desta forma o presente trabalho usará ambas denominações para descrever os conceitos científicos físicos-matemáticos que envolvem a influência de uma força empregada em um parafuso e sua aplicabilidade tanto no campo industrial como clinico.

Para compreensão desses conceitos, foram empregados os fundamentos encontrados no livro acadêmico de Halliday (1996) que traz em seu arcabouço os princípios fundamentais da Cinemática e Dinâmica Rotacional ou Cinemática e Dinâmica Angular. Lembrado que nos estudos físicos de Dinâmica a causa externa ou interna do movimento é levada em conta, ou observada no movimento de um corpo,

como por exemplo a força externa imposta na cabeça de um parafuso para que ele realize o movimento de rotação em seu próprio eixo.

Para que haja movimento, é preciso que uma força atue sobre ele. Nos movimentos de rotação essa força é capaz de fazer com que o corpo obedeça uma trajetória circular, ou simplesmente, gire. Este movimento de rotação pode ser associado a uma quantidade física, o Torque.

Para compreender melhor esta quantidade física é necessária compreender que nos estudos da cinemática rotacional, o momento de força desempenha o mesmo papel da força nos estudos da cinemática linear, ou seja, observa-se uma correspondência direta com a Segunda Lei de Newton, conforme demonstra a Equação

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

Onde:

F = força N (Newton)

m = massa (Kg)

a = aceleração (m/s<sup>2</sup>)

Assim analogamente é possível escrever a Equação 1 como:

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (2)$$

Onde:

$\tau$  = momento de força

$\alpha$  = aceleração angular

I = inercia rotacional

Vale ressaltar que o símbolo grego  $\tau$  (tau) (que representa a letra T) já aparece nas definições de força, que pode ser associada aos conceitos de torque e também de trabalho (energia).

Embora não seja possível observar na Equação 2 a variável massa, está inserida na propriedade de um sistema de rotação que depende da distribuição de massa do sistema em questão, ou seja, quanto maior for o momento de inercia I mais difícil será a variação de aceleração angular no corpo.

Segundo Garcia (2011) a análise do momento de inercia de um material empregado como elemento de fixação (conjunto de parafuso e porcas) não deve ser negligenciado na escolha o material que compõe o parafuso. Yossuda (2006) também evidencia a necessidade de se observar a escolha dos materiais que compõe os parafusos em seus estudos. Embora não seja este o objeto de estudo do presente trabalho, as características dos materiais irão influenciar no momento de torção do material, o que delimitará o quanto este material será resistente aos processos diversos nele empregados.

Qualquer objeto que sofre um movimento angular, ou seja, que possa ser girado, está sujeito a inercia rotacional  $I$ , que pode ser representada de forma escalar. Esta intensidade escalar representa a dificuldade ou facilidade de se alterar a velocidade de rotação de um objeto em torno de um eixo de rotação pré-estabelecido. Ela pode ser observada na mecânica linear como a massa linear, já que depende da distribuição de massa do objeto em relação ao eixo de rotação. Assim quanto mais distante a massa se move do eixo de rotação, mais difícil alterar a velocidade rotacional do sistema.

De forma intuitiva este fenômeno ocorre, pois, a massa irá carregar mais momento com ela ao redor do círculo em função da alta velocidade. Outro fator a ser levado em consideração é a mudança do vetor de impulso estar mudando mais rapidamente. Esses dois efeitos combinados dependem da distância até o eixo. Matematicamente o momento de inercia pode ser representado conforme a Equação

$$I = m \cdot r^2 (3)$$

Onde:

$I$  = inercia rotacional ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )

$m$  = massa (Kg)

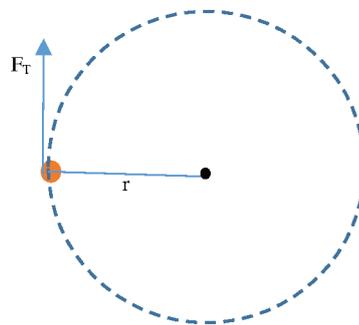
$r$  = raio (m)

Mais uma vez vale ressaltar as diferentes terminologias da inércia rotacional que podem ser encontradas na literatura como momento de inércia ou ainda segundo momento de massa. Levando essa última terminação em função do termo 'segundo'

que se refere ao fato de que depende do comprimento do braço de momento ao quadrado.

Para melhor elucidar o conceito de inércia rotacional, que deverá estar claro para a compreensão do fenômeno de torque empregou-se a descrição de Tipler (s/d) que considera um corpo de massa  $m$  que inicialmente está ligada em uma extremidade a qual possui massa desprezível, ou não possui massa. A extremidade oposta está próxima ao ponto central da articulação e sofre a ação de uma força tangencial que dá início ao movimento deste sistema, conforme ilustra a Figura 1.

**Figura 1– Ilustração de um sistema inercial de rotação**



**Fonte: Tipler (s/d) adaptado pela autora**

Na Figura 1 o corpo de massa  $m$  inicia o movimento rotacional causado por uma força tangencial  $F_t$ , de acordo com a Segunda Lei de Newton essa força pode ser expressa de acordo com a Equação 1, podendo ser reescrita conforme a Equação 4 e 5 a seguir:

$$F_T = m \cdot a_T \quad (4)$$

$$F_T = m \cdot (r \cdot \alpha) \quad (5)$$

De acordo com a Segunda Lei de Newton a força está relacionada a uma aceleração, no estudo do torque rotacional  $\tau$  assume então o papel de força. Após um ajuste matemático onde multiplica-se ambos os lados da Equação 5 por  $r$  (raio), pode-se obter expressão usada para encontrar o comportamento de uma massa em resposta a um torque conhecido, como mostra as Equações de 6 a 8.

$$F_T \cdot r = [m \cdot (r \cdot \alpha)]r \quad (6)$$

$$\tau = m \cdot r^2 \cdot \alpha \quad (7)$$

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (8)$$

Observa-se então a dependência do momento de força ou torque do momento de inércia, conforme descrito na Equação 2.

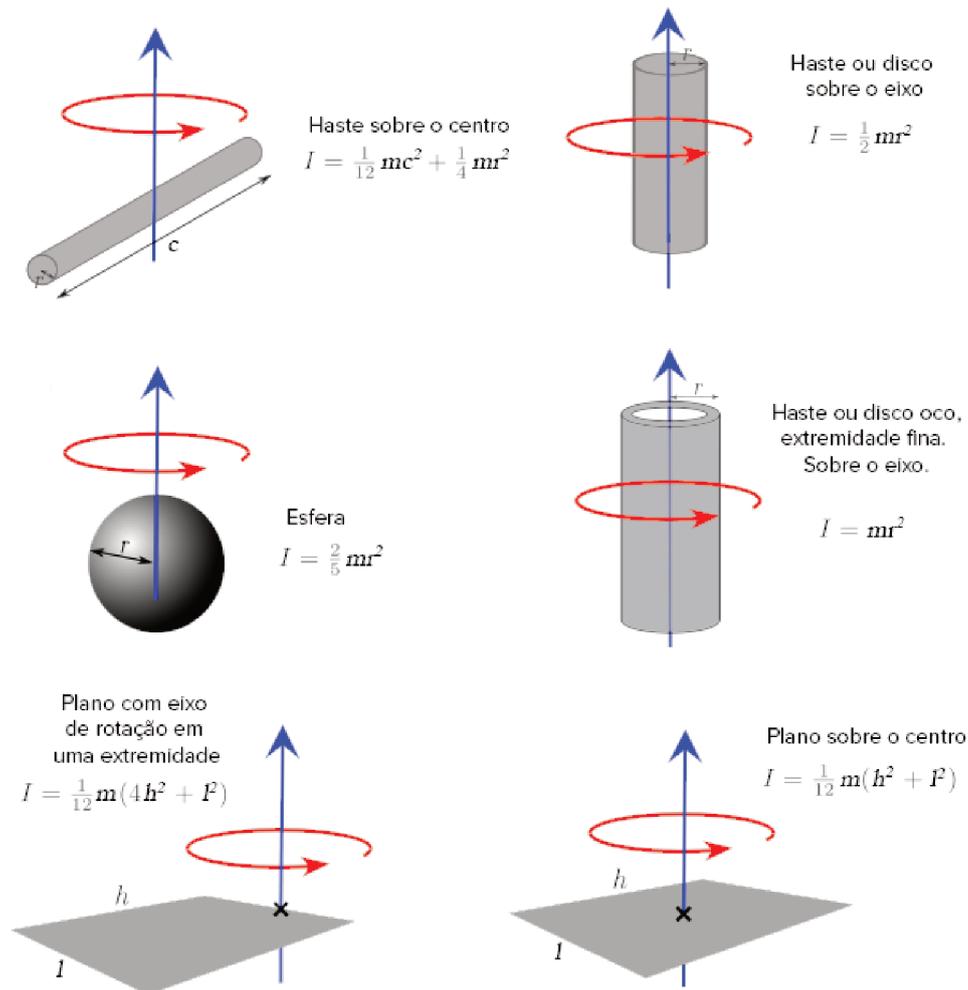
De acordo com Tipler a inércia rotacional apresenta uma dependência da forma geométrica do corpo, ou objeto, já que está vinculada ao seu centro de massa. Assim os estudos alguns modelos geométricos foram descritos conforme descreve Hansen (2009) na Equação 9 e 10 que determina a inércia rotacional para um cilindro sólido com raio  $r$  girado em torno de um eixo central e para um cilindro oco com raios interno  $r_i$  e  $r_o$ .

$$I_{cilindro} = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \quad (9)$$

$$I_{cilindro\ oco} = \frac{m(r_i^2 + r_o^2)}{2} \quad (10)$$

Ainda segundo Hansen (2009) formas geométricas mais complexas podem ser encontradas por meio da junção de outras formas mais simples, para as quais já foram determinadas uma equação para a inércia rotacional. Assim combinando-se estas inércias rotacionais pode-se encontrar a do objeto composto. Outras formas mais simples podem ser obtidas pelas expressões descritas na Figura 2.

**Figura 2– Expressões matemáticas que representam I, em figuras geométricas mais simples**



Fonte: Hansen (2009)

Na Figura 2 é possível observar o uso de hastes ou discos como forma predominante. De acordo com Garcia (2011) os cálculos físicos-matemáticos propostos nos modelos geométricos de formas cilíndricas possibilitaram o aperfeiçoamento da produção de parafusos na união de componentes diversos, permitindo que diferentes modelos sejam desenvolvidos de acordo com as necessidades dos processos mecânicos sofridos por esses elementos de fixação, que em sua maioria possuem a forma cilíndrica.

Segundo Hansen (2009) um desafio imposto na combinação de formas simples é que as equações propostas oferecem a inércia rotacional no ponto próximo do centroide o que não corresponde ao eixo de rotação real. Segundo o autor, este problema pode ser minimizado empregando-se o Teorema dos Eixos Paralelos, que

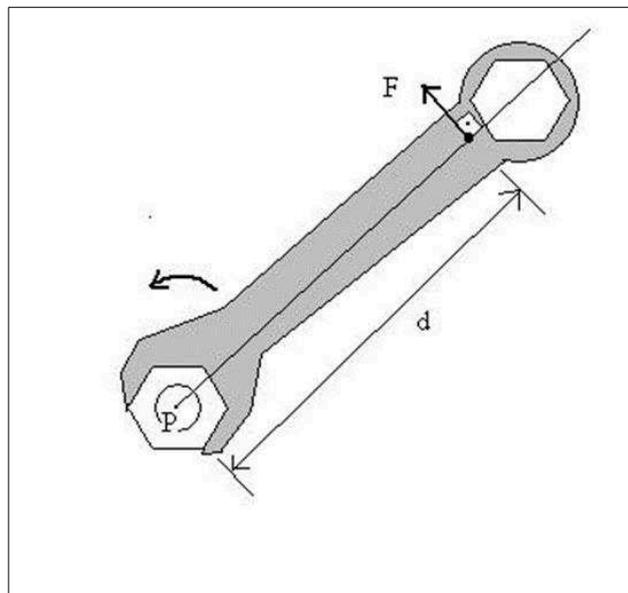
permitem determinar o momento de inércia de um corpo sobre um ponto O, se for conhecido o momento de inércia da forma em torno de seu centroide C, de massa m e distancia d entre os pontos O e C. Conforme mostra a Equação 11.

$$I_c = I_o + md^2 \quad (11)$$

Segundo ainda o autor, é possível encontrar I em objetos com densidade uniforme, mas com orifícios centrais, considerando-se o buraco como sendo uma forma com inércia rotacional negativa.

Dando continuidade ao estudo dos conceitos fundamentais de Momento de Força ou Torque, observou-se as diferentes definições encontradas pelos autores pesquisados. Segundo Antunes Junior (2018) Torque é uma grandeza física vetorial capaz de medir a quantidade de força atuante em um objeto a qual promove um movimento de rotação, fazendo com que este gire sobre um ponto central, denominado ponto pivô. Onde a distância do ponto do pivô ao ponto onde atua uma força F é conhecida como braço do momento sendo denotada por  $\vec{r}$ . Conforme ilustra a Figura 3.

**Figura 3 - Representação de uma situação comum de aplicação de torque**



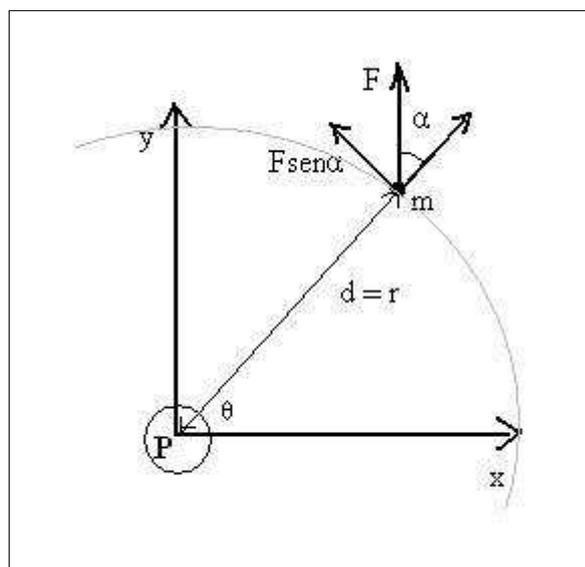
**Fonte: Yossuda (2006)**

Na Figura 3 a aplicação do Torque é empregada para realizar o trabalho rotacional em um parafuso. Considerando que na extremidade de r há um corpo de

massa  $m$  (parafuso) denominada  $P$ , ao produto da força aplicada na extremidade  $d$  da alavanca pela distância da alavanca  $d$  e o seno do ângulo entre a linha sobre a qual está o braço de alavanca e a direção da força aplicada denomina-se momento de força.

Matematicamente, o vetor torque  $\tau$  é dado pelo produto vetorial entre os vetores  $\vec{r}$  e  $\vec{F}$ , conforme ilustra a Figura 4.

**Figura 4– Representação do diagrama de forças sobre um corpo de massa  $m$  que se movimenta em torno de um ponto fixo**



Fonte: Yossuda (2006)

De acordo com a Figura 4 é possível determinar o momento de força pela Equação 12, abaixo.

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (12) \text{ (Produto Vetorial)}$$

Considerando o eixo de rotação  $y$ , a Equação 12 pode ser reescrita conforme a Equação 13 a seguir:

$$\tau = r \cdot F \cdot \text{sen}\theta \quad (13)$$

Onde:

$\tau$  = torque

$r$  = é o vetor distância da força aplicada até o ponto fixo

$F$  = vetor da força aplicada

$\text{sen } \theta$  = é o seno do ângulo entre a força e o braço de alavanca  $d$

Nos casos onde  $\theta$  é  $90^\circ$   $\text{sen } \theta = 1$  a Equação 13 se reduz a Equação 14:

$$\tau = r \cdot F \quad (14)$$

No setor industrial para a manufatura de parafusos, emprega-se  $K$  como sendo um fator de Torque (“ $k_{\text{factor}}$ ”), assim a Equação 14 pode ser reescrita conforme a Equação 15 abaixo:

$$\tau = r \cdot F \cdot k_{\text{factor}} \quad (15)$$

Segundo estudos de Antunes Junior (2018) as unidades de medida de torque são definidas pelo produto da distância com a força aplicada, assim N.m (Newton metro), lbf.ft (Libra pé), kgf.m (Quilograma força metro).

De acordo com Griza (2000) no setor industrial é comum o emprego da unidade de pressão, pois equipamentos são acionados por unidades hidráulicas. Neste caso as unidades de medidas são descritas por PSI ou lb/pol<sup>2</sup> (Power Square Inch ou Libra por polegada quadrada que são a mesma coisa), BAR (Atmosfera Padrão) e Pa ou kgf/cm<sup>2</sup> (Pascal ou Quilograma força por centímetro quadrado que são a mesma coisa).

No emprego do torque em elementos de fixação com parafusos espera-se que esses sejam capazes de gerar força tensora suficiente conforme a necessidade de cada projeto, ou seja, para prender um implante, para suportar a trepidação de um motor, etc.

### 2.1.1 Tipos de Torque

De acordo com Garcia (2011) é possível medir-se o torque ou o momento da força dinamicamente durante o aperto do parafuso, ou estaticamente, por meio da verificação do torque com um torquímetro após o aperto. Assim pode-se descrever que:

#### 2.1.1.1 Torque Dinâmico

É o valor máximo de Torque calculado em tempo real empregando-se apertadeiras elétrica-eletrônicas que possuem controle de Torque durante a operação

de aperto. Neste processo são registrados os valores obtidos, o que impede que o Torque Dinâmico seja checado após sua aplicação, ou seja, ele pode ser somente monitorado. Nos casos em que o torque é utilizado em apertadeira que não conta com controle de Torque, este é comumente denominado como o 'Torque de *Set-Up*' da apertadeira.

#### 2.1.1.2 Torque Estático

O Torque oferece valores encontrados em apertadeira que não contam com controle de Torque. O *set-up* da apertadeira emprega ou é igual ao valor do Torque Dinâmico, e na sua falta, pode –se utilizar o valor médio do Torque Estático. O Torque Estático é empregado como 'Torque de Verificação' em processos de auditoria de Torques, correspondendo ao Torque de Aperto necessário para dar início a quebra de uma fixação já efetuada. Pode ser encontrado na literatura com a denominação de Torque Residual.

#### 2.1.1.3 Torque Falso

Ocorre em eventos onde há a necessidade de se aplicar um Torque específico, sem produzir a respectiva Força Tensora. Este evento pode ocorrer se houver um fator agravante, como uma rosca extremamente deformada onde pode ocorrer um pico de Torque (nominal).

#### 2.1.2 Tipos de torquímetro

De acordo com Yossuda (2006) com o advento da evolução tecnológica dos equipamentos empregados na indústria, como o uso das parafusadoras de torque e controle de velocidades por sistemas digitais, a execução e monitoramento do Torque em processos de manufatura ganharam novos modelos e os processos manuais segundo Antunes (2018) estão sendo cada vez mais substituído por maquinários sofisticados.

Segundo Freitas (2006) a Revolução Industrial propiciou ao homem a produção de máquinas e equipamentos em larga escala. A competitividade mercadológica passou a exigir dos produtores cada vez mais qualidade, custos reduzidos, dando abertura ao surgimento de mecanismos e máquinas com resistência calculada de acordo com a finalidade dos materiais manufaturados, barateando os custos

impedindo os desperdícios de materiais e tempo com manutenção. Impondo o controle de força aplicada aos processos que empregam elementos de fixação rosqueados (como parafusos) para que não houvesse rompimento ou danos. O controle desta força pôde então ser exercida por meio do cálculo do Torque e dos torquímetro.

Segundo Oliveira (2003) as áreas responsáveis pela medição e controle de torque são uma das áreas das Engenharias que mais ganham espaço no mercado devido tanto a necessidade de melhoria continua dos produtos como do cumprimento das legislações vigentes.

De acordo com Maciel (1999) o torque é medido por meio de torquímetro e transdutores de torque. Estes instrumentos têm a propriedade de controlar os torques aplicados em parafusos nas linhas de montagem industrial automobilística, naval e aeronáutica. Tendo a necessidade de constante calibração. Este fator vem sendo um agravante nas questões relacionadas ao mercado produtivo que necessita do controle de torque. Freitas (2006) descreve em sua dissertação sobre a importância da implantação primária de torque no Brasil, que o país ainda enfrenta sérios desafios tanto no cumprimento da legislação como no domínio de tecnologias de ponta, capazes de competir com o mercado internacional.

Conforme Ramirez Ahedo e Torres Guzmán (2001) na escolha da compra de um Sistema de Padronização Nacional de Torque, o laboratório da empresa quando houver, ou o serviço terceirizado para realizar este trabalho deve oferecer diversos estudos para encontrar qual o melhor modelo de máquina para realização da unidade de grandeza. Devendo esta cumprir as exigências em função do nível da exatidão e incerteza de medição, solicitados para laboratórios de padronização nacional.

De acordo INMETRO (2000) os torquímetro são construídos, ou constituídos conforme determinações rígidas de usinagem e montagem. Exigem maquinários e mão de obra específica para sua manufatura e a escolha adequada do modelo destes torquímetro deve responder a necessidades como segurança, rapidez, facilidade e qualidade para seu trabalho.

Os torquímetro são empregados somente para o aperto final, sendo preciso conhecer quais valores cada torque comporta, existe uma padronização de para esta verificação.

Existem diversas classes de torquímetro, sendo estas: torquímetro de relógio; torquímetro de relógio com ponteiro de arraste; torquímetro de estalo com escala /

sem escala; torquímetro de escape ou giro livre; torquímetro com cabeça intercambiável; torquímetro tipo "T"; torquímetro digital; torquímetro pneumático; torquímetro axial; torquímetro de vareta; torquímetros especiais para áreas médicas (esterilizáveis); torquímetros para tampas de embalagens; transdutores de torque estáticos e rotativos, torquímetros hidráulicos.

Os mais empregados são os torquímetro de vareta, de relógio e o digital, como mostram as ilustrações nas Figuras 5, 6 e 7.

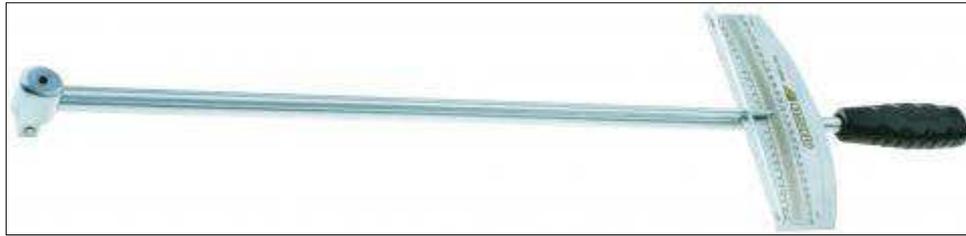
**Figura 5– Ilustração de um torquímetro de relógio**



**Fonte: Gedore (2018)**

A Figura 5 ilustra um modelo de torquímetro da empresa Gedore, o equipamento é constituído com um encaixe quadrado duplo com catraca 1/4" (6,35 mm) e 3/8" (9,52 mm), conforme norma DIN 3120, que permite a aplicação de torque no sentido horário (direita) e anti-horário (esquerda). Segundo Gedore (2018) esse tipo de torquímetro é classificado conforme norma DIN EN ISO 6789, possuindo uma exatidão de  $\pm 3\%$  do valor obtido em qualquer ponto da escala, sendo a especificação da norma igual a  $\pm 4\%$ , contando ainda com proteção contra sobrecarga de torque. Contam com sinal áudio visual, que alertam os operadores quando o torque desejado é atingido.

**Figura 6– Ilustração de um torquímetro de vareta**



**Fonte: Gedore (2018)**

Na Figura 6 a empresa Gedore ilustra o modelo de torquímetro de vareta, um dos primeiros modelos embora tenha evoluído tecnologicamente. Seu princípio de funcionamento se dá pela flexão da haste. Também conta proteção contra desvios da vareta na escala. É aconselhado na aplicação de torque no sentido horário (direita) e anti-horário (esquerda). Apresenta encaixe quadrado externo 1/2" (12,70 mm) conforme norma DIN 3120 e exatidão de  $\pm 7\%$  em qualquer ponto da escala.

**Figura 7– Ilustração de um torquímetro digital, Cleco I-Wrench**



**Fonte: Mintz (2018)**

A Figura 7 ilustra o modelo de torquímetro disponível pela empresa Mintz, é um dos modelos mais modernos e permite uma precisão na análise de torque dinâmico. Segundo Mintz (2018) este modelo é pioneiro no mercado pois conta com comunicação Wi-fi, e controle de toque e ângulo para aplicações de aperto de parafusos e porcas.

Segundo Gedore (2018) tem-se difundido o emprego do uso de torquímetros na aplicação e controle do torque em elementos de fixação em todos os segmentos produtivos em especial em pontos sensíveis onde o aperto final pode causar danos no aperto final. Segundo ainda a empresa o Brasil ainda tem significativos desafios neste setor o que seria sanada com o aumento de investimentos tecnológicos.

Freitas (2011) apresenta em sua dissertação, que um dos pontos a serem destacados no incentivo a novas pesquisas do setor de análise de torque se devem em especial a quatro grandes oportunidades de desenvolvimento comercial que o país vem passando, onde as questões ligadas a metrologia e conseqüentemente a eficiência do controle de torque se põem em evidencia estando diretamente ligadas ao desenvolvimento e autossuficiência tecnologia por parte das engenharias. Essas quatro oportunidades (a construção do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL); as discussões em torno da Associação de Livre Comércio das Américas (ALCA); a integração do MERCOSUL com a União Europeia (UE); a participação na Organização Mundial do Comércio - OMC.)

Para o pesquisador ou para o profissional do setor industrial vale ressaltar as observações de Valente (2004) em discorrer que existe uma significativa e objetiva inquietação no que diz respeito as barreiras técnicas comerciais. Segundo CEFET (2007) verifica-se a proteção de mercados que tende a recair nas as áreas de normalização e regulamentação técnica assim como a metrologia, onde o que orienta a lógica de tal esse processo é a qualidade (certificada) de produto e serviços.

Segundo Cruz (2001) os serviços de metrologia são essenciais nas participações de acordos comerciais, nesse contexto, é ainda importante haver a participação de dois ou mais países que possam compartilhar recursos de infraestrutura tecnológica, em especial nas áreas como da metrologia científica, já que os investimentos em laboratórios, equipamentos e capacitação de pessoal, nos níveis que vão do técnico ao doutorado, são muito elevados.

## 2.2 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO COM PARAFUSOS

Os parafusos também ganham diferentes denominações na literatura pesquisada. Segundo Yossuda (2006) em seu trabalho científico o pesquisador se refere ao componente parafusos, como “elemento roscado de fixação”.

Para Ávila (2014) o parafuso se caracteriza por uma peça metálica de matéria dura em geral obedecem a geometria cônica ou cilíndrica, podendo ser sulcada em espiral ao longo de sua face externa tendo uma base superior ajustada para diferentes ferramentas de fixação, como uma chave de fenda.

Segundo Cioto (2011) o parafuso tem por finalidade ser o elemento de fixação de duas ou mais superfícies, combinadas ou em junções diferentes, como a madeira, parede de alvenaria (neste caso com a utilização de bucha de fixação), chapas metálicas ou numa matriz de matéria pouco dura ou dura, podendo associar o uso de porcas ou através do efeito combinado de rotação e pressão em um orifício destinado exclusivamente para recebê-lo, sulcado em sentido contrário ao espiral ou não.

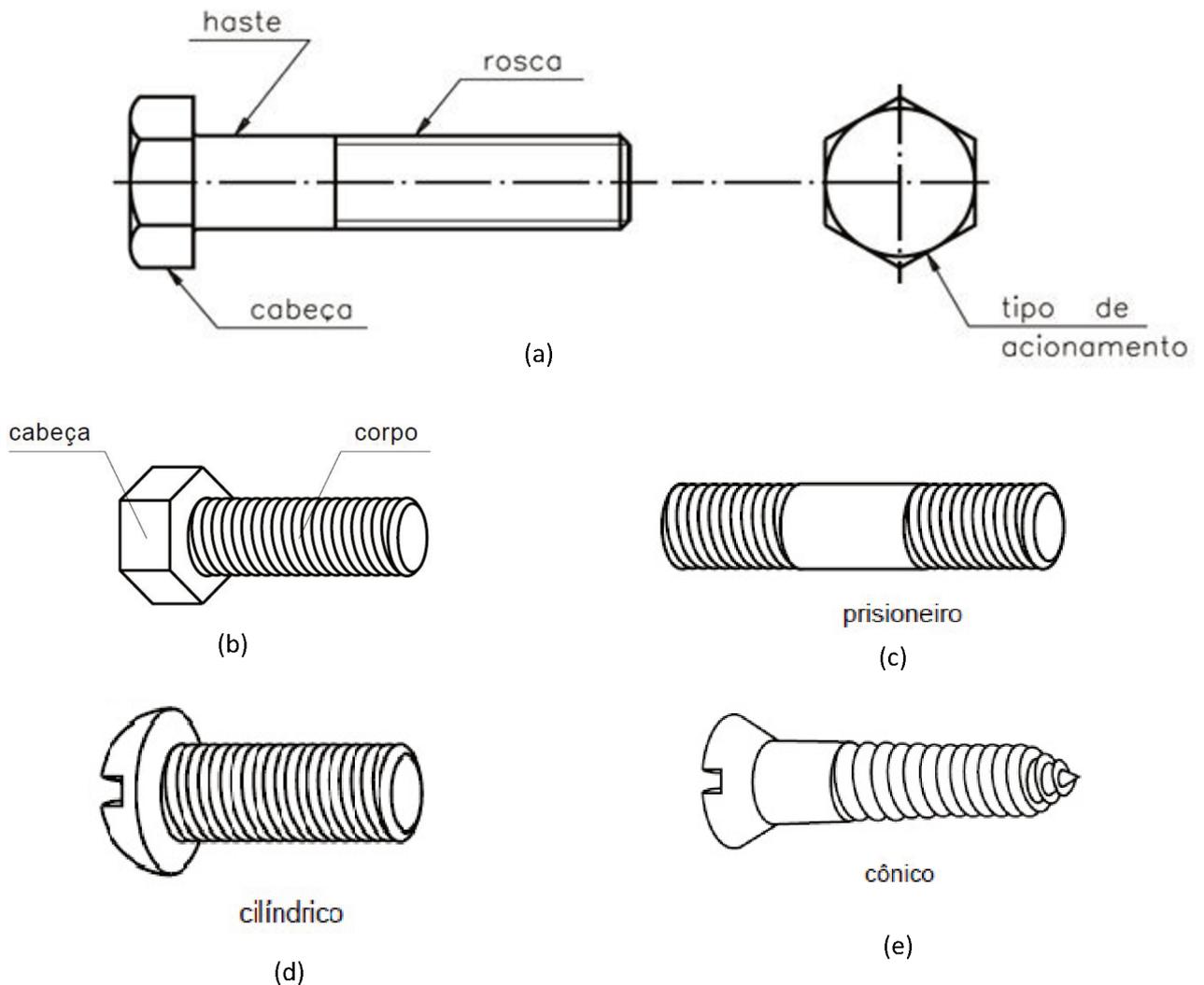
Ávila (2014) define parafuso, como sendo um órgão que tem por função transformar um movimento de rotação em um movimento de translação, sendo formado por um sistema formado pelo parafuso propriamente dito e uma porca. Tendo a função de ligar peças que fazem parte de um sistema mecânico maior que sofre movimento ou esforço.

Para Silva (2017) a autora se refere ao parafuso como sendo um componente, que pode ser metálico ou constituído por outro material como, plástico, vidro ou madeira, de geometria cilíndrica ou cônica que funciona como um elemento de ligação entre outros materiais.

Segundo Antunes (2018) existem diversos tipos de parafusos, esta diversidade está relacionada ao material de que ele é produzido podendo ser em sua maioria de latão, aço carbono, aço inoxidável, alumínio, aço ligado, até mesmo de plástico. Outra característica importante é levar em consideração se este parafuso possui algum tipo de tratamento térmico ou acabamentos superficiais que podem influenciar na capacidade.

De acordo com Ávila (2014) o corpo do parafuso apresentar forma geométrica cilíndrica, cônica, parcialmente roscado ou totalmente roscado, contar ou não com uma “cabeça” que pode apresentar formas geométricas quadrada, sextavada, de tremeço (ou esférica), contrapunçoada, cônica, ou de grampo. Para que ocorra a fixação do parafuso emprega-se um segundo componente denominado “porca”, que possui formato interno oco, e externamente sextavado, ou apresentar uma cavidade central na cabeça, para que possa haver o torque. Como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Ilustração das partes do parafuso



Fonte: *Metálica* (2018) adaptada pela autora

Na Figura 8 (a) observa-se as divisões de um elemento de fixação: haste ou corpo, cabeça e rosca. A Figura 10(b) ilustra um parafuso com o corpo rosqueado, as figuras 8 (c,d e e ) ilustram os tipos de cabeça de parafuso que podem ser sextavadas, ou possuir um suco interno na parte central para inserir um elemento de aperto como uma chave de fenda por exemplo, podendo ter o corpo cilíndrico ou cônico. A Figura (c) mostra um modelo onde não há a cabeça do parafuso fixada em seu corpo, funcionando como um elo que aprisiona dois outros componentes.

## 2.2.1 Modelos de parafusos

Segundo estudos de Ávila (2014) existem alguns tipos de parafusos padronizados, como segue abaixo:

### 2.2.1.1 Parafuso sem porca

Empregado em situações onde não existe espaço para adaptar uma porca, neste caso o parafuso é acomodado por m um furo.

### 2.2.1.2 Parafuso com porca

Este parafuso recebe outro nome de parafuso passante. Para a fixação do parafuso emprega-se porca e arruelas.

### 2.2.1.3 Parafuso para pequenas montagens

Estes parafusos podem ser utilizados com diversos modelos de roscas e cabeças sendo muito empregados em processos com ligas de metal, madeira ou plásticos.

### 2.2.1.4 Parafuso de chamada ou de reclamo

Estes parafusos são empregados em processos de ajuste em retículo do óculo nos objetos de mira ou astronómicos.

### 2.2.1.5 Parafuso de pressão

Estes parafusos tem a finalidade de realizar o aperto de uma peça ou objeto entre si exercendo uma força considerável em função da multiplicação do esforço que se obtém pelo parafuso.

### 2.2.1.6 Parafuso diferencial

Neste parafuso conta com duas roscas em seu corpo, para que possa haver a movimentação do parafuso numa das porcas fixas, deslocando a segunda porca com amplitude de movimento diferencial (diferente) em função da desigualdade dos passos das roscas.

#### 2.2.1.7 Parafuso prisioneiro

Empregado em processos onde há a necessidade de se montar ou desmontar parafuso sem o uso da porca periodicamente, como em processos de manutenção por exemplo.

#### 2.2.1.8 Parafuso Allen

Estes parafusos são produzidos com aço de alta resistência à tração sendo submetido a tratamento térmico depois da conformação. Apresentam um furo hexagonal de aperto na cabeça, comumente de forma cilíndrica e recartilhada sendo empregada a chamada chave Allen.

#### 2.2.1.9 Parafuso de fundação farpado ou dentado

São manufaturados de aço ou ferro sendo empregados para unir máquinas ou equipamentos ao concreto ou à alvenaria. Possuem a cabeça trapezoidal delgada e áspera que ao serem envoltas pelo concreto, asseguram excelente fixação. A forma de seu corpo é arredondada possuindo dentes, que têm a função de aprimorar a adesão do parafuso ao concreto.

#### 2.2.1.10 Parafuso auto-atarraxante

Apresentam rosca de passo largo no seu corpo cônico de aço temperado, apresentando ou não ponta e entalhes longitudinais que tem como função cortar a rosca como uma tarraxa. A cabeça nesses parafusos tem forma arredada, e usam o latão como matéria prima, sendo chanfradas com fendas simples ou em cruz (tipo Phillips). Dispensam o furo roscado ou a porca, pois corta a rosca no material onde é preso.

### 2.3 FORÇAS DE PROTENSÃO EM ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

#### 2.3.1 Influência do fator de capacidade na determinação do Torque

Segundo Garcia (2011) a Equação 15 permite calcular o Torque, entretanto é importante levar em consideração variáveis como a capacidade do equipamento que

irá realizar o processo de manufatura, seja ele qual for. De acordo com Bothe (1997) a capacidade de um processo se refere a necessidade de se obter o máximo de informação sobre as diversas influências que podem afetar este processo. Para tanto deve-se minimizar as variáveis que poderão surgir referentes a interferências humanas, características específicas do material, métodos empregados ou fatores ambientais.

Estes fatores devem ser analisados para garantir a qualidade dos produtos manufaturados que empregam elementos de fixação bem como tem por função permitir a segurança dos usuários. Para tanto analise-se o nível de criticidade que é responsável pela garantia e rastreabilidade do aperto. Nos setores industriais estas análises são realizadas pelo departamento de engenharia de produção cabendo a este setor a especificação do processo de aperto e parâmetros de controle bem como o monitoramento de outras variáveis que possam influenciar na força de união, como velocidade de aperto, coeficiente de atrito entre outras.

O processo produtivo deve ocorrer com base em nos parâmetros e valores de torque definidos pelo setor de engenharia, sendo ainda este responsável por monitorar os equipamentos, capacitar a mão de obra bem como determinar estratégias de ação em caso de falhas que podem inibir o processo manufatureiro, o que garante a produtividade e capacidade.

De acordo com Freitas (2006) é imprescindível que se realizem inspeções rotineiras e auditorias na qualidade das análises de torquímetros, bem como a calibração dos torquímetros, garantindo sempre a qualidade e segurança do produto final, seja ele na indústria ou em outros segmentos.

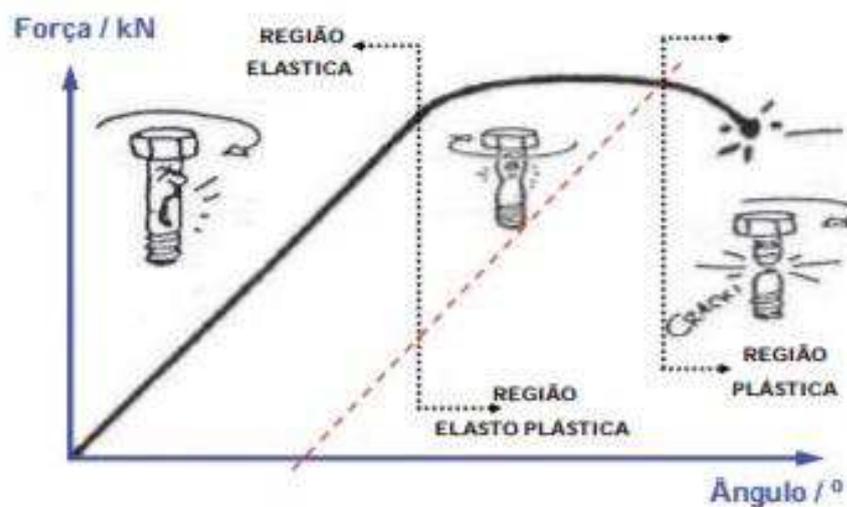
As especificações de torque podem variar consideravelmente de acordo com a demanda de qualidade, Barbosa (2014) descreve que estas especificações em automóveis são observadas nas juntas de segurança que requerem requisitos de tolerância significativamente rígidos. Nesses casos impõem-se os parâmetros de medição do ângulo de aperto, que auxiliam na verificação do excesso ou falta de componentes de uma junta “arruelas”. Podendo-se ainda verificar a qualidade do parafuso medindo-se o ângulo de aperto, antes do nível de encosto, bem como o aumento do torque final.

### 2.3.2 Classificação de resistência

Para que um elemento de fixação seja reconhecido dentro dos parâmetros exigidos tanto pela legislação vigente como pelo padrão de qualidade do mercado, há de se levar em conta diversos fatores entre eles a quantidade de torque empregada nos parafusos e sua resistência a esse torque.

Segundo Barbosa (2014) alguns desses parâmetros são conhecidos como tratamento térmicos (se houver); valor máximo de resistência; classificação de dureza (para parafusos é comumente empregado o método de Dureza Vickers baseada num ensaio laboratorial); força tensora exposta no parafuso; Limite de Resistência à Tração (LRT); Limite de Escoamento (LE); Dureza Rockwell “HRB” (para parafusos não tratados termicamente e parafusos temperados e revenidos). Conforme ilustra a Figura 9.

**Figura 9 – Regiões de parâmetros de união em elementos fixadores de rosca**



**Fonte: Garcia (2011)**

Na Figura 9 é possível observar as três regiões distintas, a primeira região próxima ao eixo das origens o parafuso inicia sua deformação, de forma elástica onde parafuso se comporta como se fosse uma mola, apresentando um comportamento linear, mas a deformação não é constante permanente, neste caso se o parafuso for apertado este retornará às suas dimensões originais. Num determinado ponto da aplicação desta força inicia-se o processo de alongamento do parafuso denominada região “elasto-plástica neste momento o parafuso encontra uma zona de deformação que não apresenta permanência podendo ainda sofrer alguma intensidade de força. Ao imprimir uma quantidade de força ainda maior neste ponto o parafuso sairá da

zona elasto-plástica, encontrando à máxima deformação permanente, chegando próximo do seu Limite de Ruptura, nesta condição pode haver a ruptura do parafuso, o que é inaceitável no processo de manufatura.

Se for possível calcular a classe de resistência de um parafuso e seus fatores geométricos específicos é possível então calcular-se a geração de força que o mesmo pode obter. Conforme mostra a Equação 16.

$$LRT = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \quad (16)$$

De acordo com Garcia (2011) assim que um elemento de fixação é submetido a uma força proveniente de um aperto, esta força de união inicia um aumento tensão no parafuso, provocando um alongamento proporcional a força aplicada no material (parafuso), ou seja, o parafuso irá esticar até chegar num limite onde gerará a ruptura.

Segundo Barbosa (2014) sabendo-se que o alongamento do parafuso é diretamente proporcional a tensão, o parafuso irá recuperar o seu comprimento original assim que a carga for removida. Este fenômeno é conhecido como área elástica. Neste caso pode haver a deformação do parafuso, mas este não chegará a sofrer ruptura. Mesmo que haja aumento do torque ele se dará na área denominada área plástica onde o comprimento do parafuso será maior que o original, não havendo, entretanto, estrição considerável.

O limite da área plástica é denominado Limite de ruptura, ou seja, a partir deste ponto o parafuso não é recomendado continuar realizando força de aperto no parafuso, pois pode haver ruptura. Desta maneira deve-se observar os esforços de forma combinada, já que pode ocorrer simultaneamente esforço axial e torcional.

Nos elementos de fixação geralmente emprega-se o agrupamento das peças que tem a finalidade de fixar ou uni-los, sendo o parafuso um desses elementos, onde a porca tem a função do diâmetro nominal. De acordo com Garcia (2014) existe uma padronização para o grau de resistência em porcas que não sofreram ou sofrerão tratamento térmico, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1 – Classe de resistência em porcas**

| <b>Diâmetro (bitola)<br/>d</b> | <b>Valores de tensão<br/>(N/mm<sup>2</sup>) Grau 8</b> | <b>Valores de tensão<br/>(N/mm<sup>2</sup>) Grau 10</b> | <b>Valores de tensão<br/>(N/mm<sup>2</sup>) Grau 12</b> |
|--------------------------------|--|---|---|
| Até M4                         | 800 N/mm <sup>2</sup>                                  | 1040  | 1140  |
| M4 – M7                        | 855 N/mm <sup>2</sup>                                  | 1040  | 1140  |
| M7 – M10                       | 870 N/mm <sup>2</sup>                                  | 1040  | 1140  |
| M10 – M16                      | 880 N/mm <sup>2</sup>                                  | 1050  | 1140  |
| M16 – M39                      | 920 N/mm <sup>2</sup>                                  | 1060  | 1200  |

**Fonte: Garcia (2014) adaptada pela autora**

A Tabela 1 mostra a relação entre o diâmetro d que podem variar de M4 a M39. A força está expressa em Newton/milímetro ao quadrado variando o grau de 8 a 12. Nas porcas é preciso levar em consideração o fator de dureza do material chamado Dureza Vickers.

A classificação de resistência nos parafusos segue uma terminologia específica, sendo identificada como 4.8, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9 e 12.9. Os Parafusos 4.8, 5.8 e 6.8 não passam por tratamento térmico. Nos parafusos 8.8, 10.9 e 12.9 há a necessidade de se realizar tratamento térmico como têmpera ou revenimento.

Segundo Garcia (2014) a classe 9.8 foi banida de projetos mais modernos pois esses parafusos eram empregados especificamente em algumas montadoras que finalizaram sua produção. Na Tabela 2 observa-se uma classificação dos parâmetros de resistência para alguns parafusos que não sofreram tratamentos térmicos com Dureza Rockwell “HRC” temperados e revenidos.

**Tabela 2 – Classificação dos parâmetros de resistência para parafusos**

| <b>Classe</b>    | <b>5.8</b> | <b>6.8</b> | <b>8.8</b> | <b>10.9</b> | <b>12.9</b> |
|------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| <b>LRT (min)</b> | 540        | 600        | 800        | 1.040       | 1.220       |
| <b>LE (min)</b>  | 420        | 480        | 640        | 940         | 1.110       |
| <b>HR “B”</b>    | 82~99,5    | 89~99,5    | -          | -           | -           |
| <b>HR “C”</b>    | -          | -          | 22~32      | 32~39       | 39~44       |

**Fonte: Garcia (2011) adaptado pela autora**

Na Tabela 2 Garcia (2014) apresenta outras características que precisam ser consideradas, uma vez que o parafuso pode apresentar valores e limites bem conhecidos de acordo com a especificação ISO 898, como Limite de Resistência à Tração (LRT), em MPa, Limite de escoamento (LE), em MPa, Dureza Rockwell “HRB”

em caso de parafusos que não foram tratados termicamente e Dureza Rockwell “HRC” para parafusos temperados e revenidos.

Segundo Shimano e Shimano (2008), uma das diversas aplicações do estudo ou análise de resistências de parafusos pode ser encontrado no setor odontológico, em especial na aplicação de implantes. O autor descreve em sua obra a análise em parafusos corticais, que sofrem torção manual e utilizam torquímetro, onde o valor primordial da análise está relacionado ao torque de ruptura e ao ângulo de ruptura do parafuso empregado no implante.

A compreensão deste comportamento mecânico admite a avaliação da resistência dos parafusos em todo o período no qual ele exerce sua função de fixação, ou seja, na inserção, no período de implantação e na retirada.

Ainda referente ao uso dos conceitos de resistência em aplicações na odontologia, segundo Beck (2006) os torquímetros podem ser empregados ainda na implantação de componentes protéticos e próteses sobre implantes, além dos próprios implantes, havendo diferentes modelos, sendo utilizados os torquímetros de vareta, de estalo e de quebra. Caso haja um torque inadequado pode ocorrer fendas espanadas, afrouxamento de parafusos, lesões ósseas e fraturas do parafuso, como pode ser observado em alguns estudos.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia adotada neste trabalho, trata-se de revisão de literatura com método de revisão bibliográfica qualitativa básica, de caráter descritivo-exploratório, através de pesquisa bibliográfica, baseado em livros de diversos autores do período de 1980 a 2018, como Hansen (2009), Garcia (2011), Barbosa (2014), Bothe (1997)

Foram feitos também um levantamento de informações sobre o tema repositórios universitários, Scielo, CAPES, Google Acadêmico, Biblioteca Unesp, Biblioteca USP, Biblioteca UNICAMP, Biblioteca UEL, SPELL.

Os critérios de exclusão se basearam no descarte de artigos sem teor científico. As palavras chaves que nortearam esse trabalho serão: torque; elementos de fixação; resistência de parafusos

## 4 DISCUSSÃO

O trabalho de conclusão de curso possibilitou observar nas literaturas pesquisadas os conceitos fundamentais referentes ao momento de força, mais conhecidos no setor industrial como Torque e a importância da resistência dos elementos de fixação com parafusos rosqueados em especial na indústria automobilística.

De acordo com Garcia (2014) encontrar a resistência ideal ao parafuso empregado em diferentes processos vem sendo um dos desafios da indústria, uma vez que este processo requer o conhecimento de parâmetros específicos do material empregado como Limite de Resistência à Tração (LRT); Limite de escoamento (LE); Dureza Rockwell “HRB. E a produção de parafusos dentro da padronização garantem a qualidade e segurança de equipamentos e sistemas que empregam esses sistemas de fixação.

Observou-se que há uma variação na terminologia empregada em textos científicos e técnicos e que o pesquisador leitor deve se ater a essas variações para melhor compreensão de suas atividades laborais ou acadêmicas. Observou-se ainda a dificuldade de oferta de artigos acadêmicos científicos que tragam a luz os conceitos físicos matemáticos fundamentais empregados na indústria em relação ao torque bem como a realização dos cálculos de resistência, verificando-se a maior oferta dos cálculos desses parâmetros nos artigos técnicos.

A pesquisa ainda possibilitou levantar informações sobre a variedade de equipamentos de leitura de torque – os torquímetros, que vem apresentando constantes inovações e acurácia em seus modelos. Outra significativa constatação na literatura pesquisada foi o desafio que o setor industrial nacional apresenta em manter um nível de competitividade com os mercados estrangeiros, já que as instituições que avaliam e controlam o uso de leitores de torque apresentam sérios desafios no que diz respeito a qualidade do controle, bem como na sistematização das atividades empregadas na fiscalização. Refletindo diretamente na qualidade do produto final nacional industrializado.

O presente trabalho deixa como sugestão de futuras pesquisas o aprofundamento dos estudos de controle e qualidade de torquímetros bem como sugere o levantamento de novas possibilidades de desenvolvimento de equipamentos

e empresas prestadoras de serviços de calibração e produção de torquímetros, o que auxiliaria na melhora da qualidade do produto final manufaturado no território nacional.

## REFERENCIAS

ANTUNES JUNIOR Wilson Eli Luís Dallalibera. **Torqueamento para garantia de integridade no sistema industrial (critérios na utilização e escolha de ferramentas com controle de torque)**. Abramam ,2018.

ÁVILA Suelen Pereira. **Parafusos**. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. 2014.

BARBOSA. Theylor Moreira. **Dimensionamento de juntas aparafusadas e aplicação de torque em peças automotivas**. Dissertação (engenharia mecânica) Faculdade de Engenharia de Resende – Resende. 2014.

BECK, J. C. P.; SILVA, I. N. L.; MENEGHETTI, L.; GUERRA, K. Torquímetro para implantes de próteses. 17º CBECIMat – **IN: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 15 a 19 de novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

BOTHE, Davis R. ***Measuring Process Capability: Techniques and Calculations for Quality and Manufacturing Engineers*** - Mcgraw-Hill, 1997.

CIOTO, R. **Comportamento das juntas rigidamente fixadas por parafusos, cálculo e dimensionamento**. Sorocaba: Metalac, 2001

CUPANI, A. **Filosofia da Tecnologia: um convite**. Florianópolis. Editora da UFSC, 2011.

CEFET/RJ **Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2003 – 2007**, documento final, aprovado na 24ª reunião de CBM. Rio de Janeiro, 2007

CRUZ, J. A. P. **Inovação Tecnológica na Área de Metrologia de Força: Protótipo de um Sistema de Padronização da Grandeza Através do Método da Pirâmide de Transdutores**. 2001. Dissertação (mestrado Inovação Tecnológica na Área de Metrologia de Força: Protótipo de um Sistema de Padronização da Grandeza através do Método da Pirâmide de Transdutores).2001

DANTAS, Alexandre Barreto. **Desenvolvimento e avaliação de padrão de torque para calibração de torquímetros em três faixas de medição**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

FREITAS, Luiz Carlos Cabral de. **Estudo sobre a implantação primária de torque no Brasil**. 2006. Dissertação (mestrado Sistema de Gestão pela Qualidade Total) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

GEDORE. Disponível em < <http://catalogo.gedore.com.br/produtos/torquímetros-e-acessorios/torquímetros-com-relogio/detalhes/052251-torquíméto-com-relogio-e-ponteiro-de-arraste>> acesso em 06 de jun.18.

GRIZA, Sandro. **O efeito do torque na vida em fadiga de uniões parafusadas**. 2000. Dissertação (mestrado engenharia de minas) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000

HALLIDAY, David, RESNIK Robert, KRANE, Denneth S. **Física 1, volume 1**, 4 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 326 p.

HANSEN, E.A, Smith G. *Factors affecting cadence choice during submaximal cycling and cadence influence on performance*. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. March 2009; 4(1):3-17.

MINTZ. Disponível em < <http://www.mtzbrasil.com.br/torquíméto-digital>> acesso em 06 de junh. 18.

MACIEL, M.A.D.; MACIEL, A.C.D.; TAVARES, M.A.R. v.3, n.2, p.205-211. Impacto e Relevância Econômica da Incerteza de Medição na Proteção e Defesa do Consumidor. in: **Revista de Ciência e Tecnologia**. Recife, 1999.

INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2. ed. Brasília: INMETRO, SENAI / DN, 2000. p.75

JUNIOR, V. F. A pesquisa científica e tecnológica. **Espacios**. Vol. 35 (Nº 9) .2014.

OLIVEIRA, R. S. et al. *Performance of the new Primary Torque Standard Machine of Inmetro*. 19th **International Conference on Force, Mass & Torque**. Imeko TC3 19-23 Feb, Cairo, Egypt. 2005. CD-ROM

PARRA, Domingos. **Apresentação de trabalhos científicos, monografias, TCC, teses e dissertações**. Futura. São Paulo. 2000

SHIMANO. Suraya Gomes Novais I; Antônio Carlos Shimanoll. Comportamento de parafusos corticais submetidos a ensaio de torção manual e de torção em máquina. **Acta ortopedica. Brasil** . vol.16 no.2 São Paulo 2008.

SILVA, Laryce Souza. **Avaliação comparativa do comportamento mecânico e tribológico de dois parafusos da classe 10.9 ASTM**. 2017.Dissertação de (Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2017.

VALENTE, J. C. **Garantia contínua e sistêmica da qualidade nas calibrações realizadas pelo laboratório de metrologia dimensional do Inmetro: Uma proposta de metodologia de implantação**. (Mestrado em Sistema de Gestão pela Qualidade Total) – Universidade Federal Fluminense: Niterói, 2004.