

## **PROJETO DE PROTÓTIPO PARA CALIBRAÇÃO DE TORQUÍMETROS**

**Wagner Melo Souza, [wagner\\_engmec@hotmail.com](mailto:wagner_engmec@hotmail.com)<sup>1</sup>**  
**Luciano Lucas Bruno, [sr.llucas@alu.ufc.br](mailto:sr.llucas@alu.ufc.br)<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Av. Humberto Monte S/N, Pici

<sup>2</sup>Universidade Federal do Ceará, Av. Humberto Monte S/N, Pici

**Resumo:** Com o constante desenvolvimento dos instrumentos utilizados para medições de torque e a crescente necessidade de se manter um padrão de qualidade dos produtos é imprescindível verificar se o instrumento (torquímetro) está calibrado dentro das tolerâncias aceitáveis, tornando-se assim um importante campo de estudo sobre a avaliação de forças. Nessa perspectiva, o Laboratório de Metrologia Mecânica da UFC (Lametro) constatou que poucos laboratórios da região nordeste realizam calibrações de torquímetro e atento a esse fato propôs a realização deste trabalho, que tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo para fazer a calibração de torquímetro no Lametro. Primeiramente, foi desenvolvido para uma pequena faixa de torque (0,5 N.m a 175 N.m) por motivos de custo inicial de construção. A metodologia utilizada foi o dimensionamento dos componentes, escolha dos materiais a serem empregados na construção, modelamento e simulação virtual e construção do protótipo. Com a construção do calibrador de torque, podem-se avaliar as incertezas associadas ao procedimento de calibração, identificando as principais fontes de erro e estimando as possíveis incertezas associadas a cada uma delas. O desenvolvimento do protótipo de calibração de torquímetro mostrou-se viável possibilitando a calibração dos instrumentos com várias faixas nominais em um único equipamento de medição eficiente, portátil e de fácil operação.

**Palavras-chave:** *calibrador de torquímetro, projeto, metrologia*

### **1. INTRODUÇÃO**

A metrologia tem suas origens na antiguidade, inicialmente utilizadas nas trocas de produtos, no comércio, para resolver questões de herança, na cobrança de impostos e tributos, entre outras aplicações, tendo sempre freqüente relação com a moeda, pois para cunha-lá devia ser utilizada uma quantidade certa de metais preciosos. Uma prova da longínqua preocupação com medições é a pirâmide de Gizeh, construída pelos egípcios por volta de 4800 a.C., com blocos de pedras com base de 1200 mm, cuja diferença dos lados do bloco inferior a 15 mm, o que corresponde a um erro de ortogonalidade de doze minutos. Inicialmente, o homem procurou definir dimensões usando como referência o seu próprio corpo. Assim surgiram várias unidades de medida como o cúbico, o pé e a jarda, Oliveira, (2006).

Medir é uma forma de descrever o mundo. As grandes descobertas científicas, as grandes teorias clássicas foram, e ainda são formuladas a partir de observações experimentais. Uma boa teoria é aquela que se verifica na prática. A descrição das quantidades envolvida em cada fenômeno se dá através da medição, Gonçalves Júnior, (2002).

Com o passar do tempo criaram várias formas de quantificar a forma de medir, porém como os resultados de medições são utilizados como parâmetro para estudos científicos e tecnológicos surgiu a necessidade de se verificar se a forma de medição e se o instrumento que realiza a medição correta o que proporcionou a grande evolução no estudo da aferição de instrumentos.

Sabe-se que não existem sistemas de medição perfeitos, suas dimensões, forma geométrica, material, propriedades elétricas, ópticas, pneumáticas, etc., não correspondem exatamente ao ideal. Isso deve-se ao desgaste e deterioração dos materiais, as variações nas condições ambientais, a vibração mecânica, existência de campos magnéticos, operador e técnica utilizada para realizar a medição e outros diversos fatores que influenciam diretamente no resultado de uma leitura da medição realizada.

Na prática esses diferentes elementos que afetam a resposta de um sistema de medição aparecem superpostos, sabendo deste fato é necessário conhecer e considerar a faixa provável dentro da qual se situam estes efeitos indesejáveis. Portanto, o resultado de uma medição não deve ser composto de apenas um número e uma unidade, mas de uma faixa de valores e a unidade.

A incerteza de medição é o parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando. No uso geral, a palavra incerteza está relacionada ao conceito geral de dúvida, no entanto, a incerteza de medição não implica em dúvida quanto a validade de

uma medição, pelo contrário, o conhecimento da incerteza de medição implica numa maior confiança na validade do resultado de uma medição.

O Laboratório de Metrologia Mecânica da Universidade Federal do Ceará (Lametro) oferece serviços de aferição de diversos instrumentos de medição dimensional, pressão e força. Analisando a quantidade e os tipos de instrumentos que são calibrados notou-se que uma demanda considerável de torquímetros.

Por ser um dos poucos laboratórios do estado e da região nordeste que oferece este tipo de aferição com fidelidade aos seus clientes e também com a constante conscientização das empresas em manterem seus instrumentos calibrados, o Lametro objetivando a oferecer uma melhor qualidade do serviço e com um prazo menor buscou acrescentar mais um calibrador de torquímetros no seu laboratório de força, sendo este segundo calibrador projetado de modo que atendesse uma faixa de calibração sem comprometer a mínima resolução atendida na Norma Regulamentadora Brasileira (NRB 12240:2000).

O desenvolvimento do projeto de um calibrador de torquímetros levou em consideração diversos fatores, dentre eles: financeiros, de construção e principalmente de incertezas calibração associadas ao projeto. Esta última teve relevância, pois possibilitou diferentes configurações de construção.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O calibrador de torquímetro construído no Lametro é do tipo alavanca fixa, Santana (2003). A grande peculiaridade deste tipo de calibrador é que se caracteriza por possuir uma alavanca que ao receber o torque em uma extremidade transmite para a outra extremidade uma reação perpendicular. Essa reação pode ser quantificada utilizando uma célula de carga, para se obter uma medida correta e garantir um livre movimento da barra que serve de alavanca do calibrador a célula de carga está disposta sobre uma placa e está sobre esferas, deste modo podemos garantir que o conjunto célula de carga e braço de alavanca pode ter um livre movimento causado pela variação de temperatura (dilatação térmica) e pela variação do comprimento linear devido ao momento fletor causado na barra pela aplicação do torque.

O desenvolvimento do projeto procura atender os requisitos da norma ABNT NBR 12240 (2000). Porém, o estudo dos princípios básicos de força, torque, fadiga dos materiais, métodos para medição destas grandezas e procedimentos de montagem e de calibração de torquímetros foram de fundamental importância para concepção do protótipo fundamentado nos conceitos e aplicações de Norton (2006), Hibbeler (2006), ABNT NBR 12240 (2000).

O projeto teve como objetivo principal a precisão na medição do torque e custo, o modelo proposto está representado na Figura (1) e consiste basicamente de um braço de aço no formato de “L” que serve para deixar o torquímetro fixo em uma posição e assim manter a sua posição constante durante a calibração.

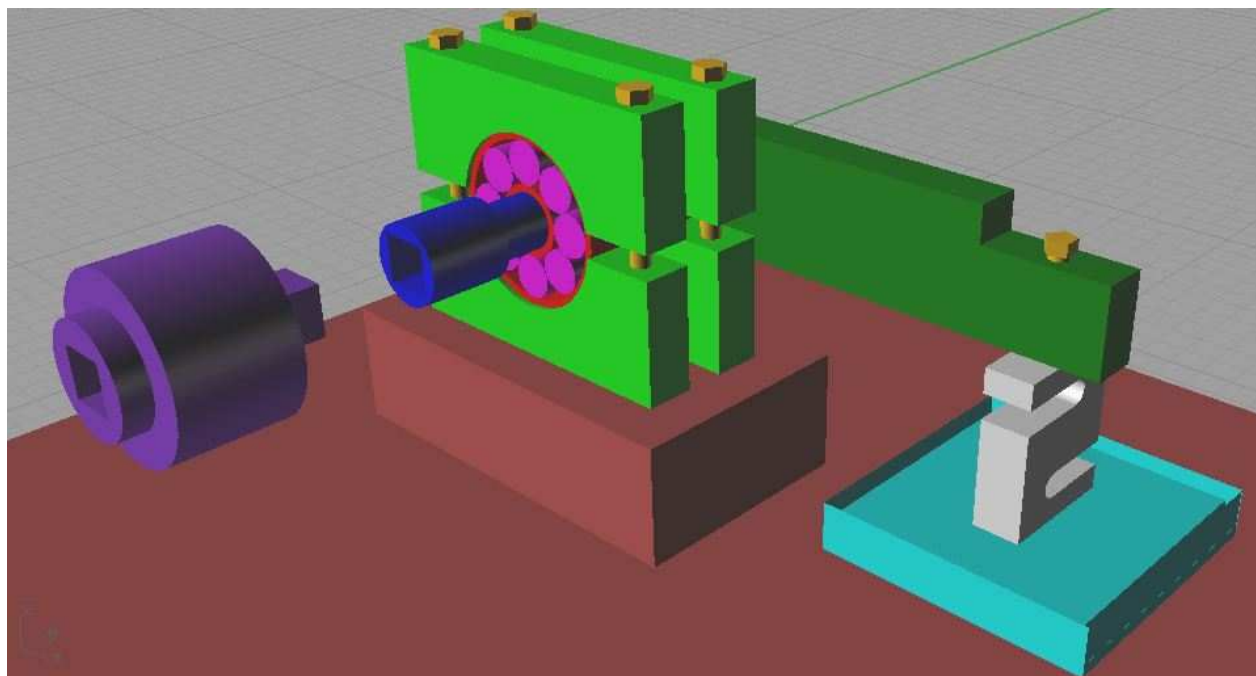


Figura 1. Imagem Virtual do Protótipo (2011).

Existe um eixo onde se pode fixar o torquímetro a ser calibrado, mas, caso seja necessário há um adaptador para diferentes dimensões de encaixe de torquímetros. O suporte desse eixo é feito por dois rolamentos de agulhas fixados na bancada, com isso pode-se garantir que o braço de alavanca estará livre para rotacionar sem causar reações com a bancada de teste Figura (2).

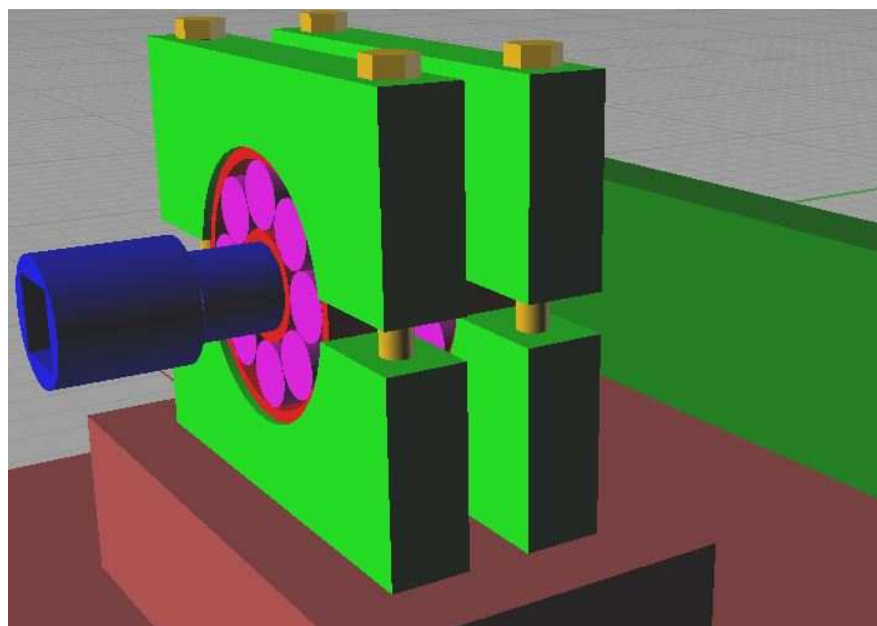


Figura 2. Detalhe do Encaixe do Torquímetro e Rolamento (2011).

Na outra extremidade está posicionada uma célula de carga de compressão fixada por um parafuso que converte a força aplicada sobre ela em voltagem e envia o sinal elétrico a um computador que converte o sinal elétrico em quilograma. Como a distância do braço de alavanca é conhecida e a reação quantificada com precisão pode-se determinar o torque que está sendo aplicado pelo torquímetro.

Com relação a célula de carga, esta repousa em uma placa apoiada por esferas garantindo seu livre movimento causado pela flexão da barra e/ou dilatação térmica Figura (3).

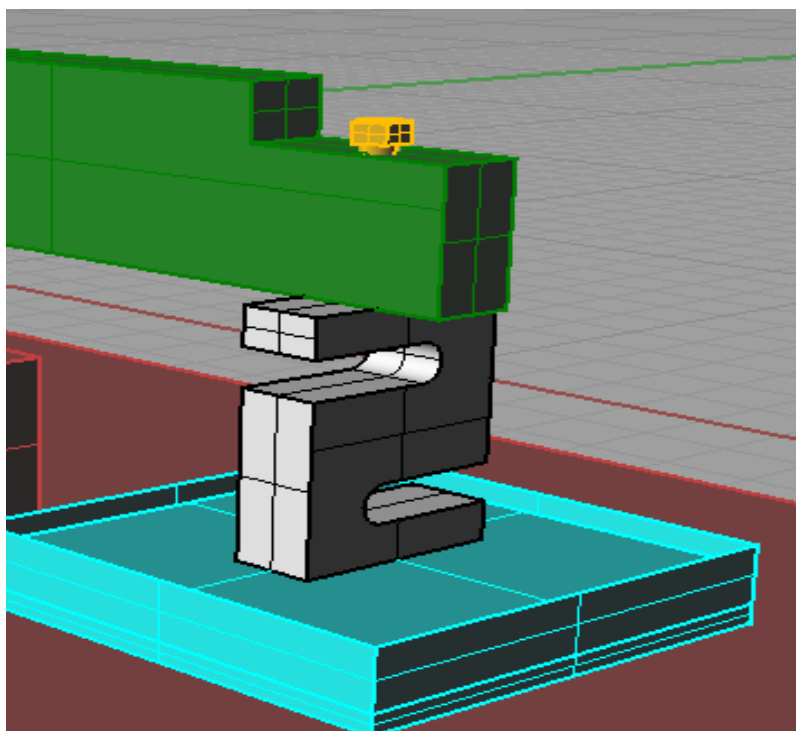


Figura 3. Imagem Virtual do Protótipo (2011).

A distância entre o centro do eixo de transmissão de torque e a linha central da célula de carga é de 175 mm como a célula de carga tem a capacidade de até 100 kg, sabendo que torque é igual ao produto de força *versus* distância ao realizar este cálculo verifica-se que o maior torque que esta célula de carga suporta neste tipo de configuração é de aproximadamente 170 N.m considerando que a gravidade no laboratório é de 9,78 m/s<sup>2</sup>, mas por questões de segurança o equipamento irá calibrar torquímetro de até 125 N.m, com o propósito de não utilizar todo o range da célula de carga e não danificando a mesma causando uma sobrecarga Figura (4).

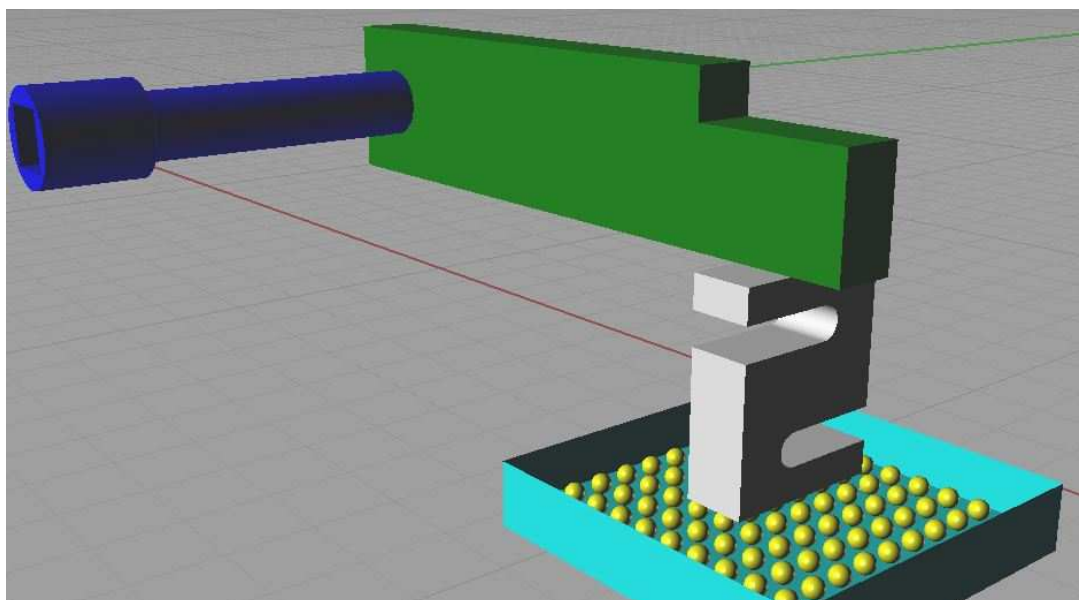


Figura 4. Imagem Virtual do Protótipo (2011).

### 2.1. Dimensionamento dos Componentes do Calibrador

O calibrador tem um funcionamento simples e é composto de um eixo circular soldado perpendicularmente a uma barra retangular que transmite a reação para a célula de carga que envia um sinal elétrico para um computador que converte esse sinal em um equivalente em massa. No eixo existe dois rolamentos de agulha para ser o suporte do calibrador.

O primeiro componente dimensionado foi o eixo, pois é o componente mais disposto a sofrer por fadiga, para isso foram realizados cálculos para estimar qual o menor diâmetro aceitável para não romper por fadiga, sabendo as condições de contorno que são o momento máximo, material do eixo e estimando um fator de segurança de 1,8. A metodologia utilizada para o dimensionamento do eixo está baseada no trabalho desenvolvido por Norton (2006). Podendo ser verificado que o eixo deve ter um diâmetro mínimo de 22 mm. Sabendo deste dado foram analisados os rolamentos e encontrado um rolamento que atendia as especificações de carga e diâmetro. O rolamento escolhido foi o rolamento de agulhas com anel interno da NSK modelo NKI 22/16.

A linha central do eixo é o ponto inicial da distância do braço de alavanca. Como o braço de alavanca foi escolhido para ter uma distância de 175 mm foi determinado que a barra retangular fosse de aço com dimensões de 220 x 50 x 19 mm, porém sabe-se que ao aplicar um momento em uma barra e como ela não poderá ter possibilidade de rotacional no sentido do momento aplicado, está terá uma reação oposta e tenderá ter uma deflexão.

Assim quanto maior o momento aplicado maior será a deflexão, sabendo deste fato e tomando como consideração a hipótese de que a barra de aço que serve como alavanca de transmissão de força é feita de um material homogêneo e por essa característica considera que o produto do módulo de elasticidade (E) *versus* momento de inércia do objeto (I) representado por (EI) seja constante em todo corpo

Foi utilizada a metodologia proposta por Hibbeler (2006) que trata sobre deflexão de vigas. Tão logo verificou-se que a maior variação vertical da barra, maior será a variação horizontal do comprimento. Calculando a deflexão para o caso mais extremo do calibrador que é quando for aplicado um torque de 125 N.m em uma extremidade temos que a deflexão máxima será de  $-5,8637 \times 10^{-6}$  m ou seja  $-5,8637 \times 10^{-3}$  mm, como a variação causada pela deflexão da barra é muito pequena em relação ao comprimento linear da mesma pode-se negligenciar esse valor e considerar como uma hipótese viável que o braço de alavanca será constante durante toda a faixa de calibração.

A célula de carga escolhida para o calibrador é de fácil montagem e tem uma resolução de 5 gramas e está disposta sobre uma placa sobre esferas, o intuito destas esferas é possibilitar que o conjunto placa, célula de carga e braço do calibrador se movimente livremente, garantindo sempre uma perpendicularidade entre a célula de carga e o braço do calibrador.

### 2.2. Modelamento e Simulação Virtual do Protótipo

O modelamento virtual teve como propósito analisar e possibilitar vários tipos de protótipos com um custo reduzido, pois não necessita construir um protótipo real para verificar sua autenticidade. O protótipo virtual pode ser feito em um tempo reduzido e com uma ótima fidelidade em relação ao real e para análise, por ser de fácil acesso, pela facilidade de trocar peças ou realizar modificações sem precisar fabricar outra peça. Considerando, então, analisar instantaneamente sem custo de fabricação e montagem.

Após realizar os cálculos para o dimensionamento o passo seguinte foi o modelamento virtual, para isso foi utilizado um programa de CAD, o software utilizado para modelamento tridimensional foi o *Rhinoceros* versão Trial,

ele foi escolhido pela ambientação gráfica ser de fácil entendimento, ter uma boa fidelidade de cotas e tolerâncias e possuir uma versão Trial onde o operador pode ter acesso em totalidade do programa.

Para a realização da simulação do protótipo utilizou-se o software Ansys, por ser um programa que realiza simulações com uma ótima aproximação de valores reais. Os valores obtidos pela simulação no Ansys foram próximos aos valores calculados utilizando a literatura do Norton (2006) e do Hibbeler (2006). O que confirmou que tanto o programa de simulação quanto a literatura escolhida para o dimensionamento são bastante confiáveis.

A diferença entre utilizar um software de simulação e uma rotina de cálculo é que utilizando um software de simulação torna-se mais fácil expressar os esforços envolvidos por um mapa de cores observando quais as regiões mais afetadas e solicitadas, o que possibilita observar melhor a área para possíveis modificações.

Abaixo na Figura (5) pode-se observar os esforços e as áreas mais solicitadas no calibrador ao ser aplicado um momento, após ser realizada a simulação computacional utilizando o *software* Ansys.

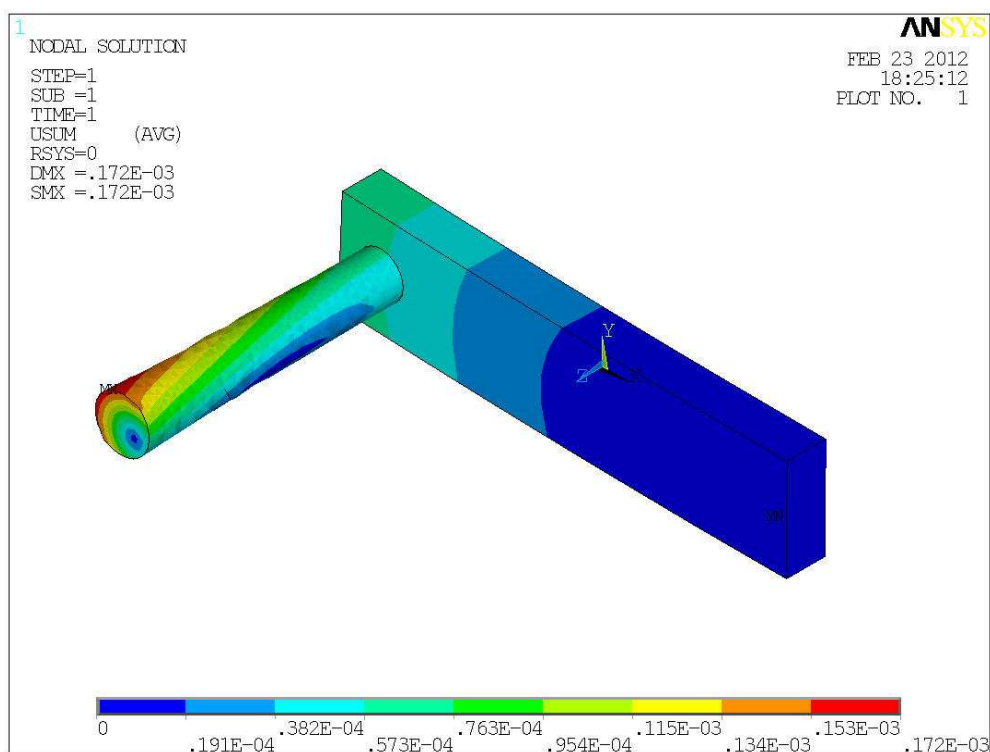


Figura 5. Simulação dos Deslocamentos Sofridos pelo Eixo e Braço de Alavanca (2011).

Já na Figura (6) são mostradas as áreas mais solicitadas no braço de alavanca devido as tensões aplicadas pela aplicação do torque e reação com a célula de carga.

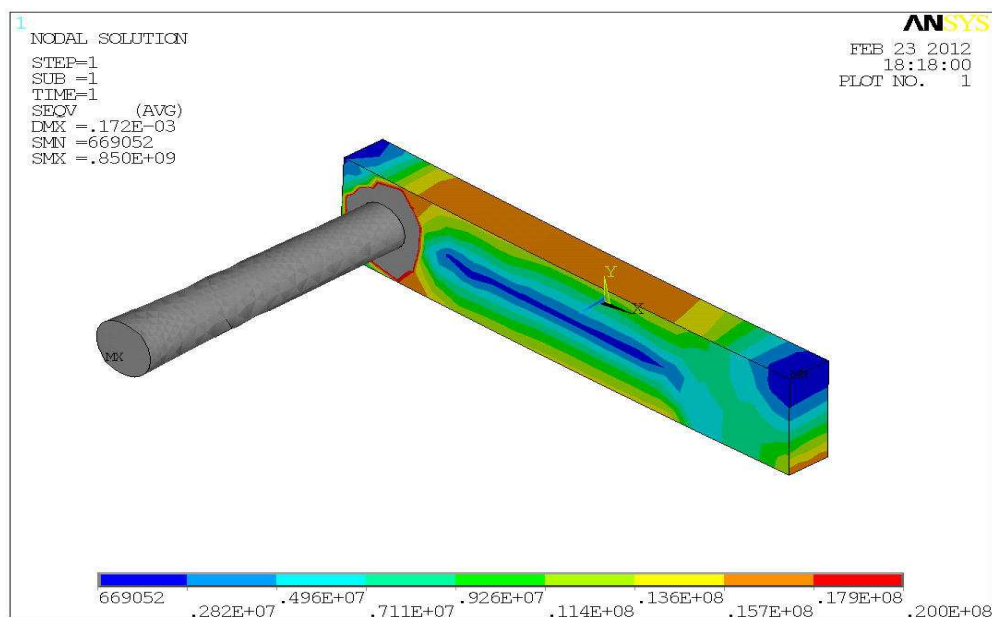
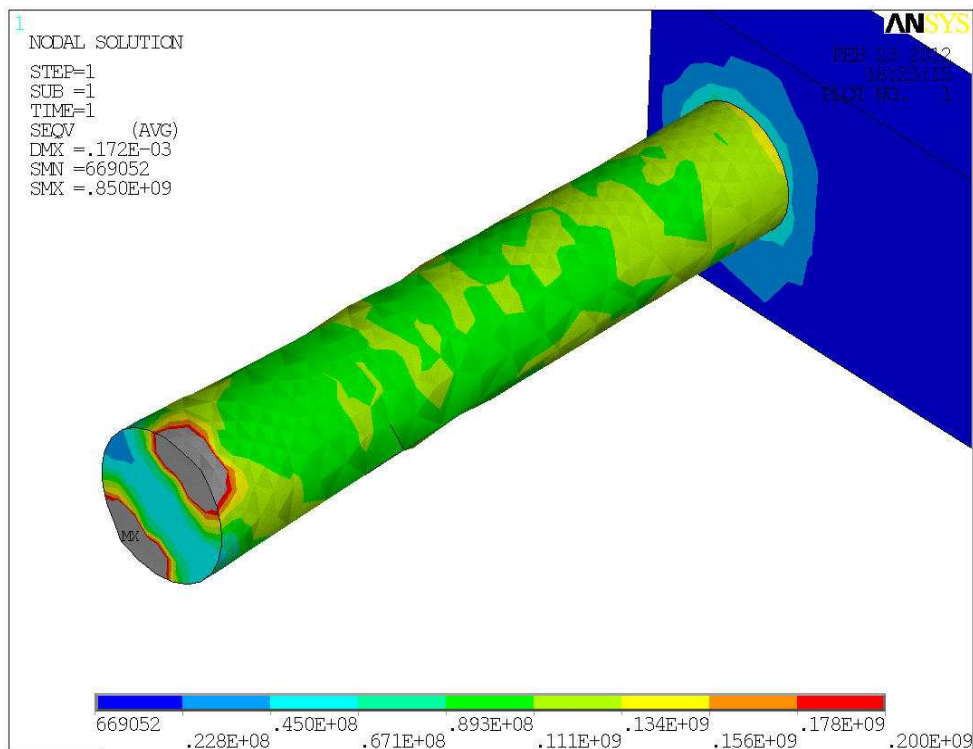


Figura 6. Tensões no Braço de Alavanca (2011).

Abaixo na Figura (7) são mostradas as áreas mais solicitadas no eixo onde se aclopa o torquímetro, os esforços são gerados pelo momento aplicado no eixo. Ao analisar os valores obtidos utilizando o software de simulação computacional e o método numérico pode-se verificar que os dados foram semelhantes.



**Figura 7. Tensões do Eixo de Suporte do Torquímetro(2011).**

Dessa maneira, para realizar o plano de montagem foi utilizado o software AutoCad 2009, pois além de ser um dos programas mais utilizados para desenvolvimento de desenhos em duas dimensões quase todas as empresas do ramo da engenharia tem uma versão deste programa tornando de fácil acesso os desenhos para confecção de peças e representação da montagem do calibrador.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após realizar todo o procedimento de dimensionamento, modelamento, simulação e plano de montagem foi realizada a construção do protótipo real, para facilitar o processo foi dividido na seguinte maneira; usinagem, soldagem, montagem do braço em “L”, medição do braço em “L”, montagem na bancada de teste e calibração do sistema.

A primeira peça usinada foi o eixo onde se encaixa o instrumento a ser calibrado, a segunda peça usinada foi a barra de aço essas duas peças foram usinadas em uma central de usinagem CNC a fim de garantir uma excelente qualidade e que as tolerâncias de folga fossem respeitadas.

A solda do eixo na barra foi feita utilizando solda MIG, pois proporciona uma boa qualidade e aparência utilizando pouca energia em relação a outros tipos de solda, assim gerando o mínimo de calor possível para não afetar as dimensões do braço de alavanca, esta soldagem foi realizada no Laboratório de Soldagem da UFC (Engesolda).

Após realizar a soldagem foi realizada a montagem dos rolamentos no eixo, então utilizando uma Máquina de Medição de Coordenadas (MMC) do Lametro verificaram-se as dimensões do braço de alavanca e a perpendicularidade entre o eixo e a barra, assim como se o furo para o parafuso de fixação da célula de carga está centralizado na barra.

Então, foi realizada a montagem final do calibrador na bancada de teste com a fixação dos rolamentos em um suporte feito sobre medida e a fixação da célula de carga no braço de alavanca

A calibração do sistema foi feita utilizando uma barra com peso conhecido e um conjunto de massa padrão. Como o torque aplicado era conhecido foi necessário criar uma tabela que permitisse realizar uma correlação com a força registrada pela célula de carga, permitindo determinar uma constante de conversão entre as grandezas de força e torque. Após os testes iniciais do calibrador o mesmo se demonstrou viável e com precisão.

Os fatores que poderiam preocupar e influenciar os resultados durante uma calibração foram testados. Diante disso foi verificado que o efeito de forças como momento fletor, torsor e cisalhante poderiam ser negligenciados como previsto nos cálculos e na simulação realizada.

Todavia o fator da temperatura não poderá ser negligenciável, tendo em vista ser de fácil correção. Dessa forma, como o calibrador ficará em uma temperatura controlada com uma variação máxima de apenas 4°C isso não irá influenciar, significativamente, nas dimensões do calibrador.

Com esses dados pode-se considerar que o calibrador atende as necessidades e os requisitos propostos pela ABNT garantindo que o Lametro ofereça em seus serviços resultados confiáveis nas medições.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luis Soares idealizador do projeto e que sempre se mostrou solícito nos vários momentos em que precisei de auxílio. Ao Luciano Lucas que ajudou durante a concepção e construção do projeto. Ao Lametro que custeou o projeto. A Pró-Reitoria de Extensão da Universidade Federal do Ceará.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ABNT, ABNT NBR 12240, 2000, “Calibração e Classificação de Instrumentos de Medição de Torque”, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, ABNT NBR 17025, 2005, “Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração”, Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Dantas, Alexandre Barreto, 2007, “Desenvolvimento e Avaliação de Padrão de Torque para Calibração de Torquímetros em Três Faixas de Medição”, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN
- Gonçalves Júnior, A. A., 2002, “Metrologia” parte 1. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Hibbeler, R.C., 2006, “Resistência dos Materiais”, Ed. Pearson, São Paulo, Brasil.
- Márcio, A. Santana, 2003, “Projeto de um calibrador de Torquímetros”, Projeto de graduação, Departamento de Engenharia Mecânica, UnB.
- Norton, Robert L., 2006, “Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada”, Ed. Bookman, São Paulo, Brasil.
- Oliveira, P. R. C., 2006, “Metrologia” 10 jan. 2012, <http://br.geocities.com/prcoliveira2000/metrologia.html>.

#### 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores Wagner Melo Souza e Luciano Lucas Bruno, são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

## PROTOTYPE DESIGN FOR CALIBRATION TORQUE WRENCH

Wagner Melo Souza, [wagner\\_engmec@hotmail.com](mailto:wagner_engmec@hotmail.com)<sup>1</sup>

Luciano Lucas Bruno, [sr.lucas@alu.ufc.br](mailto:sr.lucas@alu.ufc.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Av. Humberto Monte S/N, Pici

<sup>2</sup> Universidade Federal do Ceará, Av. Humberto Monte S/N, Pici

**Abstract:** With the constant development of the instruments used for measuring torque and the growing need to maintain a standard of product quality is essential to verify that the instrument (wrench) is calibrated within acceptable tolerances, thus becoming an important field of study on the assessment of forces. From this perspective, the Metrology Laboratory of Mechanics UFC (Lametro) found that few laboratories perform calibrations in the northeastern region of wrenches and aware of this fact proposed this work, which aims at developing a prototype to make the calibration of torque wrenches in Lametro. It was first developed for a small range of torque (0.5 Nm to 125 Nm) for reasons of initial cost of construction. The methodology was the design of components, choice of materials to be used in the construction, modeling and virtual simulation and prototype construction. With the construction of the torque gauge, one can evaluate the uncertainties associated with the calibration procedure, identifying the main sources of error and estimating the possible uncertainties associated with each. The development of the prototype calibration of torque wrenches proved viable enabling the calibration of instruments with various bands in a single nominal efficient measurement equipment, portable and easy operation.

**Keywords:** torque wrench calibrator, design, metrology