

Estudo comparativo da aplicação entre torque e ângulo e torque simples no mancal do virabrequim do motor automotivo.

Willian de Morais (Univille) morais.willianwm@gmail.com
Renato Cristofolini (Univille) renato.cristofolini2011@gmail.com
Claiton Emilio do Amaral (Univille) claiton.emilio@gmail.com
Emerson Jose Corazza (Univille) ej.corazza@gmail.com
Custódio Alves da Cunha (Univille) custodio.alves@gmail.com

Resumo

O presente trabalho visa expor um estudo comparativo entre a aplicação do torque e ângulo com o torque simples no mancal do virabrequim do motor automotivo. O aperto controlado por ângulo é um método indireto de medição de alongamento que minimiza o atrito entre as partes aparafusadas visando uma padronização e maior precisão do aperto em torques altos. Diante da problemática de quais as vantagens da utilização do torque ângulo em relação ao torque simples na fabricação de motores automotivos. Este estudo tem como objetivo geral realizar um comparativo destas aplicações especificamente no mancal do virabrequim do motor automotivo. O método utilizado neste trabalho é o estudo de caso descritivo que tem como intenção mostrar uma realidade não conhecida. Inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica visando conhecer mais sobre o tema e após o embasamento, com objetivo de verificar de modo prático os limites elásticos e plásticos, foram feitos testes de ensaio de ruptura em parafusos liga SAE 10B30, utilizados no mancal dos motores automotivos. Com o estudo concluiu-se que, com as variações de atrito no processo o torque simples, pode gerar um grave problema na montagem dos mancais, pois em alguns casos, o parafuso pode não chegar ao torque nominal, levando a sua ruptura e em outros casos o parafuso pode não chegar a sua tensão elastoplástica, entre a região elástica e plástica), que é a tensão indicada para o aperto da junta, devido o atrito gerado, o parafuso pode não atingir seu torque corretamente.

Palavras-chave: Torque; ângulo; motor automotivo; parafusamento; atrito; fadiga.

Comparative study of the application between torque and angle and simple torque in the automotive engine crankshaft bearing.

Abstract

This study aims to present a comparative study between the application of the torque and angle with the simple torque in the automotive engine crankshaft bearing. The tightening angle is controlled by an indirect method of measuring elongation which reduces the friction between the screw parts aiming at standardization and greater precision grip at high torques. Regarding the problem of the advantages of using torque and angle compared to simple torque in the manufacture of automotive engines, this study has the general aim to conduct a comparative of these applications, specifically in the engine crankshaft bearing automotive. The method used in this work it is a case study in order to show a reality not known yet. A literature review was initially carried out to learn more about the topic and after the background, in order to verify in a practical way the elastic and plastic limits, burst tests were made in screws based on a SAE 10B30 alloy used in the bearing of automotive engines. With this study it is concluded that with the frictional variations in the process simple torque may cause a serious problems in the assembly of the bearings, since in some cases the screw cannot reach the rated torque, leading to rupture and in another situations, bolt cannot reach his elastoplastic tension (between the elastic and plastic region), which is the stress to the tightness of the joint, due to the friction generated screw cannot reach his torque correctly.

Key-words: Torque; angle; automotive engine; screwing; friction; fatigue.

1. Introdução

O presente trabalho expõe um estudo comparativo da aplicação do torque e ângulo com o torque simples no mancal do virabrequim do motor automotivo.

Neste trabalho optou-se em utilizar um torque diferenciado denominado torque de aperto controlado por ângulo, que é um método indireto de medição de alongamento que minimiza o atrito entre as partes aparafusadas, visando uma padronização e maior precisão do aperto em torques altos, mas sabe-se que normalmente os torques mais utilizados são: o torque dinâmico, torque estático e torque falso, que são definidos pela forma de medição,.

A problemática consiste em discernir as vantagens da utilização do torque ângulo em relação ao torque simples na manufatura de motores automotivos, portanto, realizou-se um estudo que tem como objetivo geral realizar um comparativo destas aplicações especificamente no mancal do virabrequim do motor automotivo, mostrando uma realidade ainda pouco conhecida.

Inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica visando conhecer mais sobre o tema e após o embasamento, com objetivo de verificar de modo prático os limites elásticos e plásticos. Em seguida foram feitos testes de ensaio de ruptura em 10 parafusos liga SAE 10B30 utilizados no mancal dos motores automotivo. Posteriormente para se ter conhecimento da função do atrito no parafusamento, foram realizados outros dez testes, sendo cinco utilizando parafusos secos (sem óleo) e outros cinco com excesso de óleo. Finalmente foram realizados dez ensaios de torque de processo, com o mesmo programa usado nas linhas de montagem, a fim de obter dados para o comparativo com os ensaios citados anteriormente.

Entendendo-se que a utilização do torque ângulo tem sido cada vez mais aplicada em sistemas que necessitam de precisão e garantia de padronização, procurou-se conhecer as suas vantagens em relação ao torque simples e ajudará em futuros estudos desta aplicação em outros sistemas de montagens de máquinas.

2 Revisão da literatura

2.1 Mancal e virabrequim

Para definir mancais, Collins (2006, p.339) cita que “são elementos de máquinas que permitem movimento relativo orientado entre dois componentes, enquanto transmitem forças de um componente para o outro sem permitirem movimento na direção da aplicação das cargas”. Os mancais podem ser fabricados para sustentarem cargas axiais, radiais ou uma combinação de ambos os tipos de carga (BUDYNAS & NISBETT, 2011). Estes podem ser classificados, amplamente, em dois tipos: mancais de deslizamento, são os que possuem o escorregamento de uma superfície móvel sobre outra, e os mancais de rolamento, que são os que possuem elementos de máquinas com rolos ou esferas entre as superfícies móveis (COLLINS, 2006). No caso do motor automotivo, são utilizados mancais de deslizamento.

O virabrequim, também chamado como eixo de manivela, é definido como um elemento de máquina que transmite movimento linear em movimento rotativo (COLLINS, 2006). Num motor automotivo, quando a energia da combustão do ar e do combustível é liberada, os pistões deslizam no cilindro de cima para baixo e como os pistões estão ligados ao virabrequim por bielas, estes transmitem o movimento e geram a rotação, quando o virabrequim passa por uma rotação completa o pistão inverte o movimento e desliza novamente subindo no cilindro, e sucessivamente o movimento é repetido.

A figura 1 mostra este funcionamento do sistema de um motor de combustão interna, o virabrequim deve ser considerado como perpendicular à página e representado pelo ponto A (GRAY, COSTANZO & PLESHA, 2014).

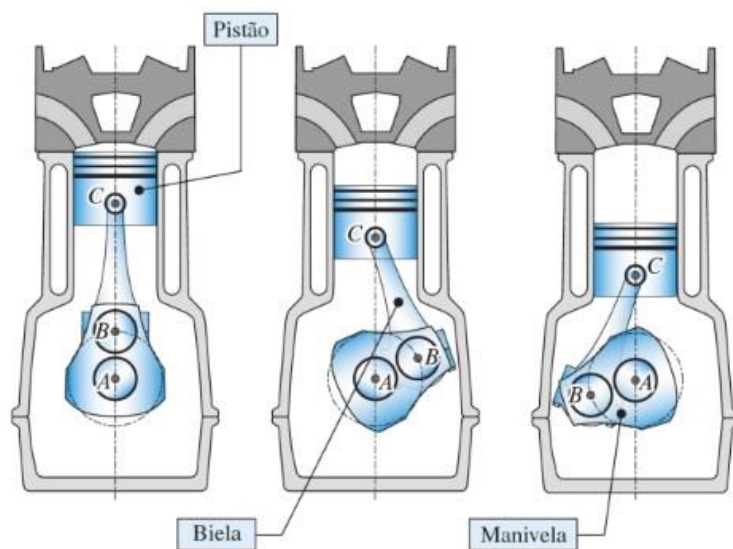


Figura 1: Funcionamento do conjunto pistão, biela e virabrequim.

2.2 Ferramentas de aperto

A utilização de ferramentas de aperto tem como principal razão diminuir o tempo do processo, otimizando a capacidade do operador e melhorando os requisitos de qualidade. A alta velocidade deste tipo de ferramental é que traz o maior interesse das indústrias. Normalmente as ferramentas quando acionadas iniciam o processo em alta velocidade e diminuem conforme encontram resistência (ATLAS COPCO, 2016).

Dentre as ferramentas de aperto temos: ferramentas de impacto, ferramentas de impulso, parafusadeiras, apertadeiras, parafusadeiras e apertadeiras elétricas, apertadeiras múltiplas e ferramentas à bateria.

No desenvolvimento dos testes foi utilizado a apertadeira elétrica. As parafusadeiras e apertadeiras elétricas são normalmente acionadas por motores de corrente contínua de baixa voltagem e são bastante utilizadas em linhas de montagem de veículos motorizados ou em indústria com exigências de controle de junta de segurança e registros de qualidade. Estes equipamentos são sistemas elaborados que possibilitam o controle contínuo do processo de aperto pelo controle de corrente. Indicadas para processos com controle de torque e alta precisão (ATLAS COPCO, 2016).

2.3 Parafusos e roscas

2.3.1 Parafusos

Os parafusos em geral são utilizados para unir duas partes, em alguns casos utiliza-se de porcas e arruelas e em outros a fixação é direta na peça. Podem ser fabricados em materiais metálicos e não metálicos, mas na maioria dos casos são fabricados em aço. Suas características que diferenciam de um parafuso para outro são: comprimento do corpo, tipo de rosca, altura da rosca e tipo de cabeça. As classificações dos tipos de rosca são seus diâmetros que são o diâmetro externo, diâmetro médio e diâmetro menor; o passo da rosca, o ângulo da rosca e a forma dos filetes (NORTON, 2013).

a) Parafusos hexalobulares: Os parafusos conhecidos como Torx®, ou hexalobular, não são muito utilizados devido à complexidade de fabricação e a existência de poucas ferramentas de aperto, sendo recursos para aplicações que exijam torque elevado em projetos mais específicos (THOMÉ, 2015). Nestes casos, são utilizados por suas características principais, dentre elas a montagem eficiente, visto que o torque é transmitido por toda a superfície, sem risco de danificar a cabeça e mantendo o tratamento contra corrosão. O Custo de ferramentas também é reduzido, visto que o parafusamento é feito de forma perpendicular, evitando o desgaste precoce da ferramenta. A cabeça deste tipo de parafuso é menor, logo utiliza menos material. Ao mesmo tempo, tem um grande potencial de padronização já que o sistema de acionamento é utilizado em diversos tipos de parafusos, reduzindo custos com ferramentas. (BOELLHOFF, 2016)

Existe dois tipos: o hexalobular externo e hexalobular interno (THOMÉ, 2015). Neste trabalho iremos abordar o parafuso hexalobular externo, conforme demonstrado na figura 2.

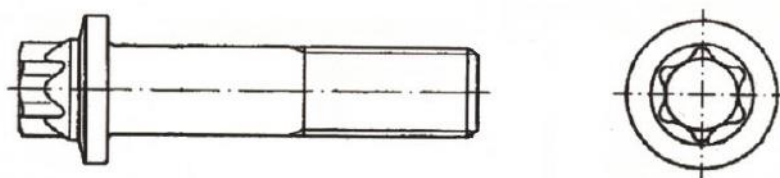


Figura 2: Parafuso Hexalobular externo.

Conforme Hassmann (2012 apud THOMÉ, 2015), o parafuso hexalobular externo conforme demonstrado na figura 2, possui uma grande vantagem na realização do torque comparado com parafusos sextavados e flangeados.

b) classe do parafuso: a classe do parafuso representa a classe de resistência que o parafuso possui. Esta numeração permanece gravada na cabeça do parafuso (TORK FORT, 2016). A classe do parafuso utilizado nos testes é 10.9. Segundo Garcia (WEB, 2016) o cálculo da resistência do parafuso é realizado conforme figura 4.

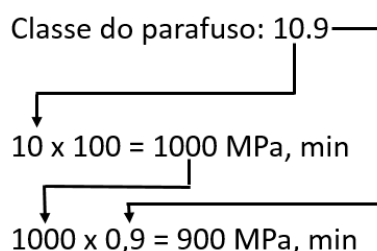


Figura 4: Cálculo da resistência do parafuso.

Com esses resultados tem-se: resistência a tração = 1000 MPa, min; limite de escoamento = 900 MPa, min.

Conforme Tork fort (WEB, 2016) “Quanto menor for a classe de resistência do parafuso, maior será sua ductilidade (capacidade de deformação do material até sua ruptura, sendo que, quanto mais dúctil for o parafuso, maior será sua capacidade de alongamento sem se romper),

porém menor será a sua capacidade de gerar força. Em outras palavras, suporta menos torque”.

2.4 Força de atrito

O aperto de uma junta parafusada possui tendências ao afrouxamento. Normalmente este problema ocorre mais por causa da falha na aplicação do pré-torque do que afrouxamento externo. Isso é devido a utilização de pré-cargas inadequadas somadas com o atrito no aperto (PIZZIO, 2005).

Segundo Muniz(2007 apud RODRIGUES, 2015), o atrito em uma definição simples, seria como dois corpos deslizando um sobre o outro. Esta resistência gerada durante o movimento é chamada de atrito.

O coeficiente de atrito altera dependendo das condições operacionais como temperatura, velocidade, pressão de contato, também varia com a lubrificação(BREGANON, 2015).

O coeficiente de atrito é: $\mu = F / N$

Onde μ é o coeficiente de atrito, F a força tangencial e o N é a força normal. O coeficiente de atrito não possui unidade devido a divisão das duas forças na equação. Do coeficiente de atrito dividimos em duas partes: o coeficiente de atrito dinâmico e estático. Coeficiente de atrito dinâmico é o atrito gerado durante o aperto da junta e o estático ocorre quando gerado uma força depois da junta torquada (em repouso) (RODRIGUES, 2015).

No trabalho em questão o coeficiente de atrito relevante é o dinâmico.O atrito deve ser considerado de grande importância pois, 10% do torque dado é revertido em energia potencial, mantendo a tensão na junta, o restante é perdido através de atrito. Com isso necessita utilização de lubrificação, assim faz com que a relação de atrito entre parafuso e porca seja semelhante tanto igualmente uma perda de energia(VISINTIN 2016).

3 Materiais, procedimentos experimentais e análise dos resultados.

3.1 Preparação de material

Para os testes foram utilizados: uma bancada móvel da Cleco® para a realização dos torques. Esta bancada possui um monitor de navegação aonde se visualiza o torque e ângulo dado no momento do aperto, o gráfico de força em relação ao aperto, todos os programas e suas etapas no processo de cada programa, dentre outras funções.

3.2 Testes de Ruptura

Para melhor entender os limites de tensão que o parafuso estudado suporta, foi realizado o teste em 10 parafusos de um bloco torqueando até a sua ruptura.

Foi criado um programa de torque para a realização dos testes com as mesmas características da linha de montagem, somente foi retirado o monitoramento por ângulo e aumentado o torque final para 160 N.m.

Foi realizado o torque nos dez parafusos de fixação dos mancais do bloco, porém, só sete parafusos chegaram ao limite de ruptura. Os outros três parafusos espanaram a cabeça durante a execução do torque. Não foi possível trocar estes parafusos para fazer um reteste, pois, devido ao atrito gerado quando efetuado o torque, faz com que as roscas desgastem e se for trocado o parafuso e dado o torque novamente, o resultado não será igual, pois a superfície da rosca estará mais lisa, com isso, alterará o resultado do teste. Uma superfície lisa fará com que o torque do parafuso seja mais alto pois as roscas deslizarão com mais facilidade levando mais tempo para a ruptura.

Após realizado os torques e gerado os gráficos, foi efetuado a junção das sete curvas em um único gráfico só, conforme anexo 1.

Com esses dados mostrado no gráfico 2, conseguimos definir a região elástica, elastoplástica, plástica e ruptura que são os dados que precisamos para a avaliação dos testes e principalmente conseguimos encontrar a tensão nominal para a comparação dos testes a seguir.

3.3 Torque de processo

O torque de processo possui quatro etapas. Primeira etapa a torqueadeira gira no sentido anti-horário em 1080° para encontrar a cabeça do parafuso, segundo a torqueadeira começa a parafusar até chegar a um torque de 5 N.m., quando chega a 5 N.m. é o momento em que o parafuso encosta na peça. A partir daí inicia o pré-torque especificado por engenharia, que é a terceira etapa. Este torque é dado até chegar a 50 N.m. Por definição de engenharia, com 50 N.m a junta (capa do mancal e mancal) está totalmente encostada eliminando a folga entre juntas. Chegando a 50 N.m. inicia a quarta etapa que é o monitoramento por ângulo. A faixa nominal de de ângulo é de 52°, que a torqueadeira utiliza, mas sua tolerância é de 45° a 60° isso faz com que todos os parafusos cheguem a um torque aproximado.

Segue o gráfico 3 com os dez torques de processo realizado.

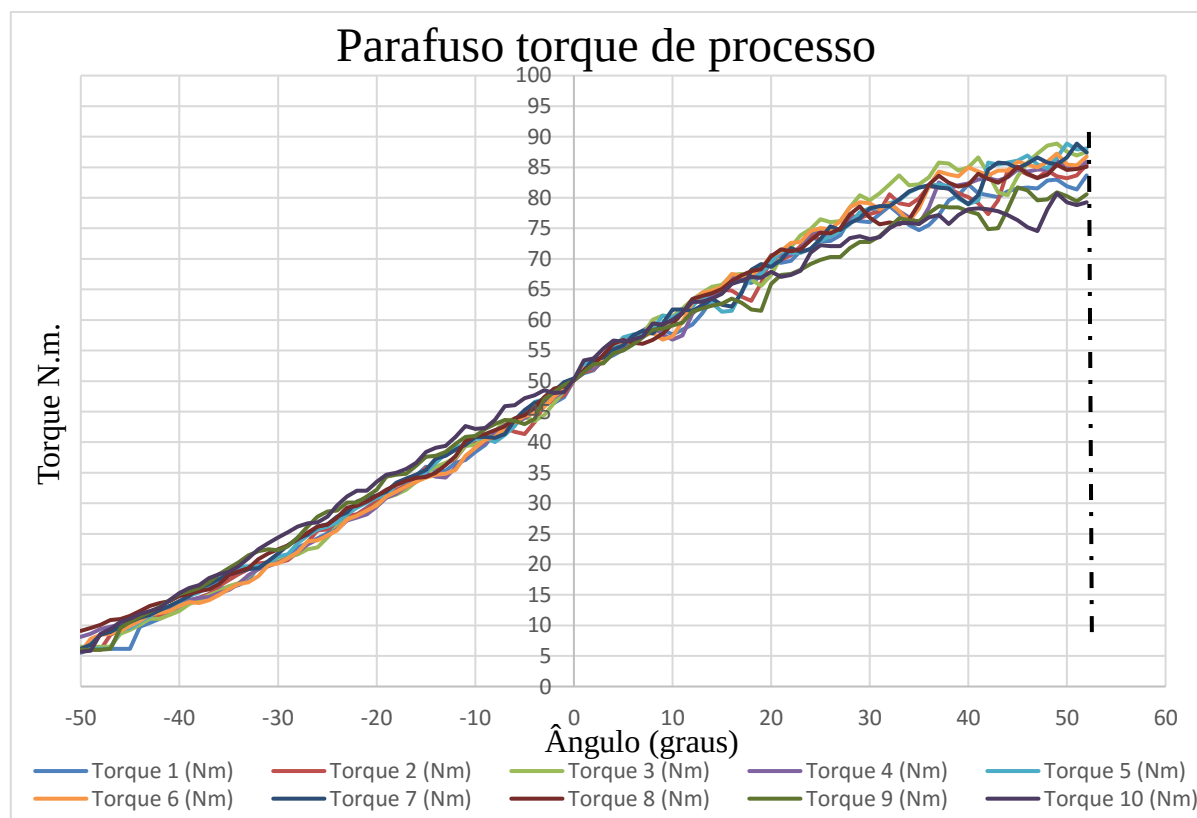


Gráfico 3: Torques de processo

Os torque de processo demonstrados no gráfico 3, foram ilustrados a fim de comparar com as variações de torques dos testes a seguir. Verificou-se que, os torques de processo não chegaram a 90 N.

3.4 Torque parafuso sem óleo

A fim de exemplificar na prática como o atrito interfere diretamente no torque, foi realizado outro teste com o programa de processo mas com 5 parafusos sem óleo, como demonstrado na gráfico 4

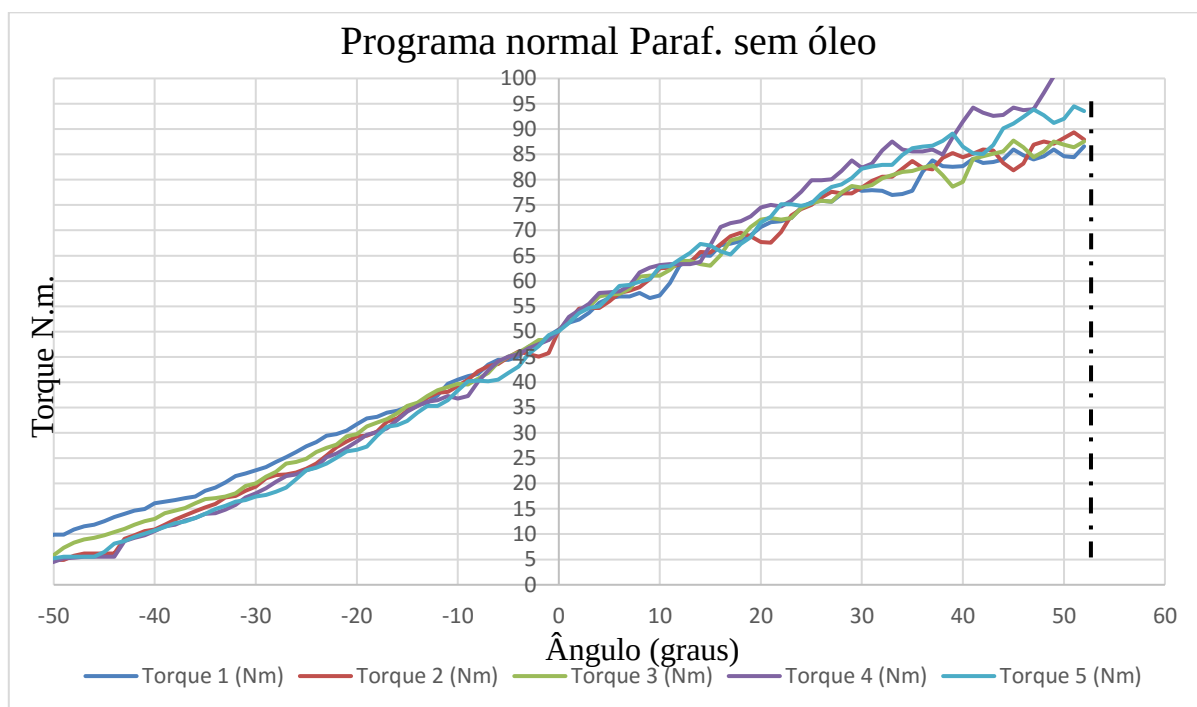


Gráfico 4: Torque parafuso sem óleo

No gráfico 4 pode-se verificar, que neste processo, o atrito gerado fez com que o parafuso necessitasse de um torque mais alto para chegar no ângulo especificado no processo de aperto da junta.

3.5 Parafuso com excesso de óleo

Neste estudo, foi lubrificado 5 parafusos e as roscas do mancal com muito óleo, para analisar o comportamento de torque com a redução do atrito, conforme demonstrado na gráfico 5.

Programa normal paraf. com excesso de óleo

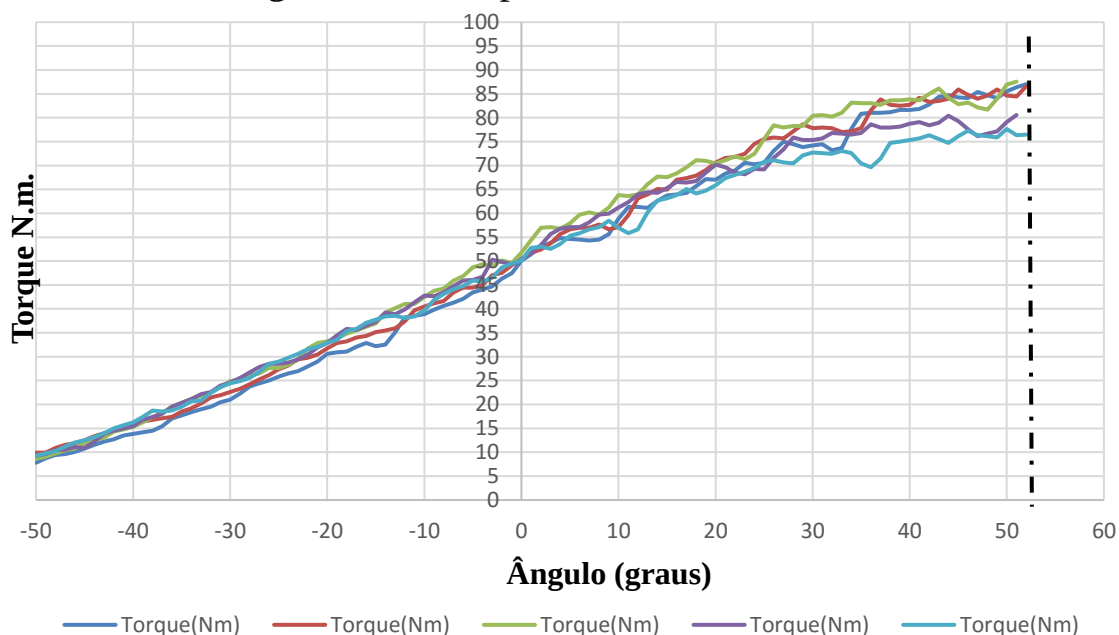


Gráfico 5: Torque parafuso com excesso de óleo.

Conforme gráfico 5, verificamos que o torque do parafuso com excesso de óleo comparado com o torque processo (grafico 3) apresentou-se mais baixo, devido a diminuição do atrito por causa do excesso de óleo.

3.6 Análise do gráfico

Para analisar os resultados, foi realizado a média com torque de ruptura, do torque de processo, os parafusos sem óleo e com óleo foi utilizado, o pior caso de cada um para melhor visualização e estudo do gráfico. Conforme gráfico 6 segue o comportamento das médias das curvas geradas.

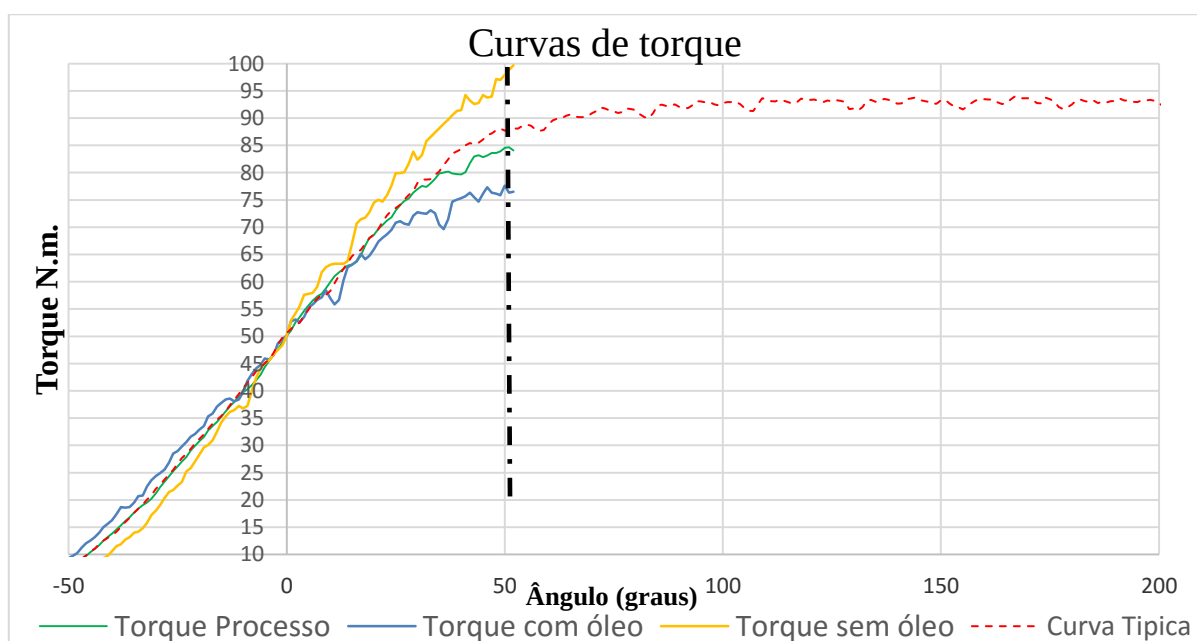


Gráfico 6: Análise de torque e ângulo

Pelo gráfico 6 compreende-se que, o atrito é um fator que se deve ser levado em consideração. Verificou-se que o parafuso sem óleo atingiu seu limite plástico. Comparando o torque do parafuso sem óleo com os torques realizados no gráfico 2, verificou-se que a 100 N. o parafuso entra no regime plástico, ou seja, inviabilizando o processo já que o indicado é o parafuso ser torquado no seu limite elastoplástico. Já o parafuso com excesso de óleo atingiu a região elastoplástica antes, comparado com os torque de processo. Como o último estágio o torque no ângulo não pode passar de 95 N.m., a máquina irá rejeitar o torque bloqueando as próximas etapas de montagem do motor.

3.7 Torque ângulo versus torque simples

No gráfico 7, foi feita a análise de torque sem o monitoramento por ângulo. Foi utilizado o mesmo gráfico com os mesmos dados para a análise o único requisito que foi dispensado no gráfico, foi o ângulo.

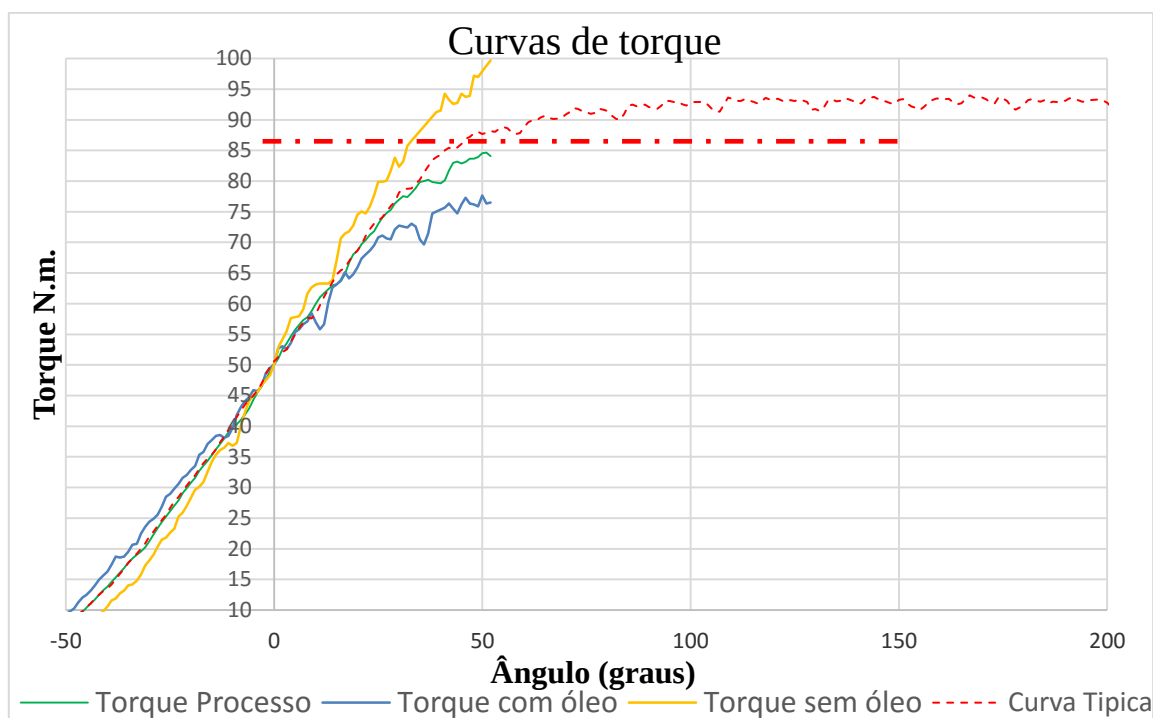


Gráfico 7: Análise de torque simples.

Utilizando a curva típica como base para o estudo, foi definido um torque nominal de 88 N.m. (gráfico 7), que é a faixa de torque em que a curva típica entrou no limite elastoplástico. A realização do torque sem o monitoramento do ângulo funciona da seguinte forma: a máquina irá torquar o parafuso até chegar em sua faixa definida que no caso do estudo foi de 88 N., ou seja, a máquina só irá parar quando chegar nessa faixa. Analisando o gráfico foi visto que a curva de torque com excesso de óleo não vai chegar no torque específico pois, analisando sua curva ela chega no seu limite elastoplástico com 76 N a partir desta faixa inicia a tensão plástica e seu torque não irá aumentar significativamente, oscilando até sua ruptura.

O parafuso sem óleo por sua vez irá chegar aos 88 N, porém verifica-se que o torque ainda está crescente não chegando a iniciar a curva indicando que o parafuso está na região elastoplástica, ou seja, a região em que o torque parou é a elástica, isso faz com que o parafuso não realize uma fixação total na peça.

Conclusão

O estudo comparativo do torque e ângulo com o torque simples, visou demonstrar suas características singulares e os resultados em dois casos, um foi o torque no parafuso sem óleo e o outro com excesso de óleo, a fim de demonstrar na prática, como o atrito influencia diretamente no parafusamento, podendo ocasionar um problema grave no processo.

Com os dados em um gráfico (gráfico 6), foi possível analisar melhor a diferença entre os testes realizados. No teste do parafuso sem óleo, percebeu-se que no momento do ajuste por ângulo, que no caso a apertadeira gira em um ângulo nominal de 52°, a apertadeira aplicou mais torque, o que ocasionou no parafuso, uma deformação plástica, chegando a um torque de 100 N.m. e consequentemente inviabilizando a peça já que em uma condição normal o parafuso estaria entrando na condição plástica em torno de 100 N.m.

Ao contrário disso, foi possível analisar que nos testes dos parafusos com excesso de óleo, o torque foi mais baixo para atingir o ângulo, mas sem ficar fora da tolerância, tornando o processo viável.

Para a análise do torque simples utilizamos o mesmo gráfico, porém sem considerar o o ângulo. Verificamos que, definindo um torque, que no caso foi definido em 88 N.m. dependendo da condição do parafuso, este pode nem chegar ao torque especificado atingindo sua ruptura devido a máquina entender que só vai parar quando chegar a 88 N.m. e se diminuir o torque limite poderia ocorrer de estar trabalhando com parafusos na região elástica, não garantindo o grampeamento da junta.

Desta forma, com este estudo concluiu-se que, com as variações de atrito no processo o torque simples, pode gerar um grave problema na montagem dos mancais, pois em alguns casos, o parafuso pode não chegar ao torque nominal, levando a sua ruptura e em outros casos, o parafuso pode não chegar a sua tensão elastoplástica.

Concluiu-se também que a utilização do torque simples no parafuso do mancal é um método arriscado e com uma ampla tendência ao erro.

Baseado nos resultados dos testes, percebe-se que o torque e ângulo é a forma mais eficiente de fixação, visto isso, deve-se ampliar a pesquisa de sua utilização em outros tipos de equipamentos que utilizem torque considerável e que a falta de torque ou rompimento do parafuso gere risco ou custo elevado de manutenção, além de motores automotiv garantindo a qualidade e a padronização do processo.

Referências

ATLAS COPCO. **Tecnologia de Aperto – Guia de Bolso**. Disponível em: <<http://www.valona.com.br/downloads/Tecnologiadeaperto.pdf>>. Acesso em: 15 de março de 2016.

BOELLHOFF. **Hexalobular/Torx®**. Disponível em: <http://www.boellhoff.com/en/de/fasteners/additional_assortments/hexalobular-torx.php>. Acesso em: 13 de março de 2016.

BREGANON, Rogério. **Comportamento tribológico do aço inoxidável martensítico CA-6NM nitretado por plasma em ensaio de riscamento linear**. 2015. 115f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley. Projeto de engenharia mecânica**. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

COLLINS, Jack A. **Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção de falha**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

GARCIA, Roberto. **Conceitos Gerais sobre Torque e Processos de Torque. Conceitos Relevantes sobre Coeficiente de Atrito**. Disponível em: http://www.metalork.com.br/i_prot/biblioteca/Cartilha_RobertoGarcia.pdf. Acesso em: 28 de mar. de 2016.

GRAY, GARY L.; COSTANZO, FRANCESCO; PLESHA, MICHAEL E. **Mecânica para engenharia: Dinâmica**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. Tradução: Konstantinos DimitriouStavropoulos et al. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PIZZIO, Éverton. **Avaliação da vida em fadiga de uniões parafusadas – Estudo de caso**. 2005. 120p. Dissertação (Pós-graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RODRIGUES, Carlan Ribeiro. **Avaliação do comportamento mecânico e tribológico de parafusos da classe 10.9 para emprego estrutural**. 2015. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

SENAI/CST. **Noções Básicas de Elementos de Máquinas**. Vitória: Senai, 1996.

TORK FORT. **Classes de parafusos**. Disponível em: <<http://www.torkfort.com.br/2010/12/classe-de-parafusos/>>. Acesso em: 22 de junho de 2016

THOME, Éderson. **Proposta de alteração do processo de produção do parafuso de roda mantendo as propriedades de montagem**. 2015. 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Univates. Lajeado.

VISINTIN, Rodrigo Sudá de Forton Bousquet. **Investigação sobre o desgaste prematuro dos parafusos de fixação do bocal de exaustão externo de motores aeronáuticos GE CF6-80C2**. 2016. 63 p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Anexo

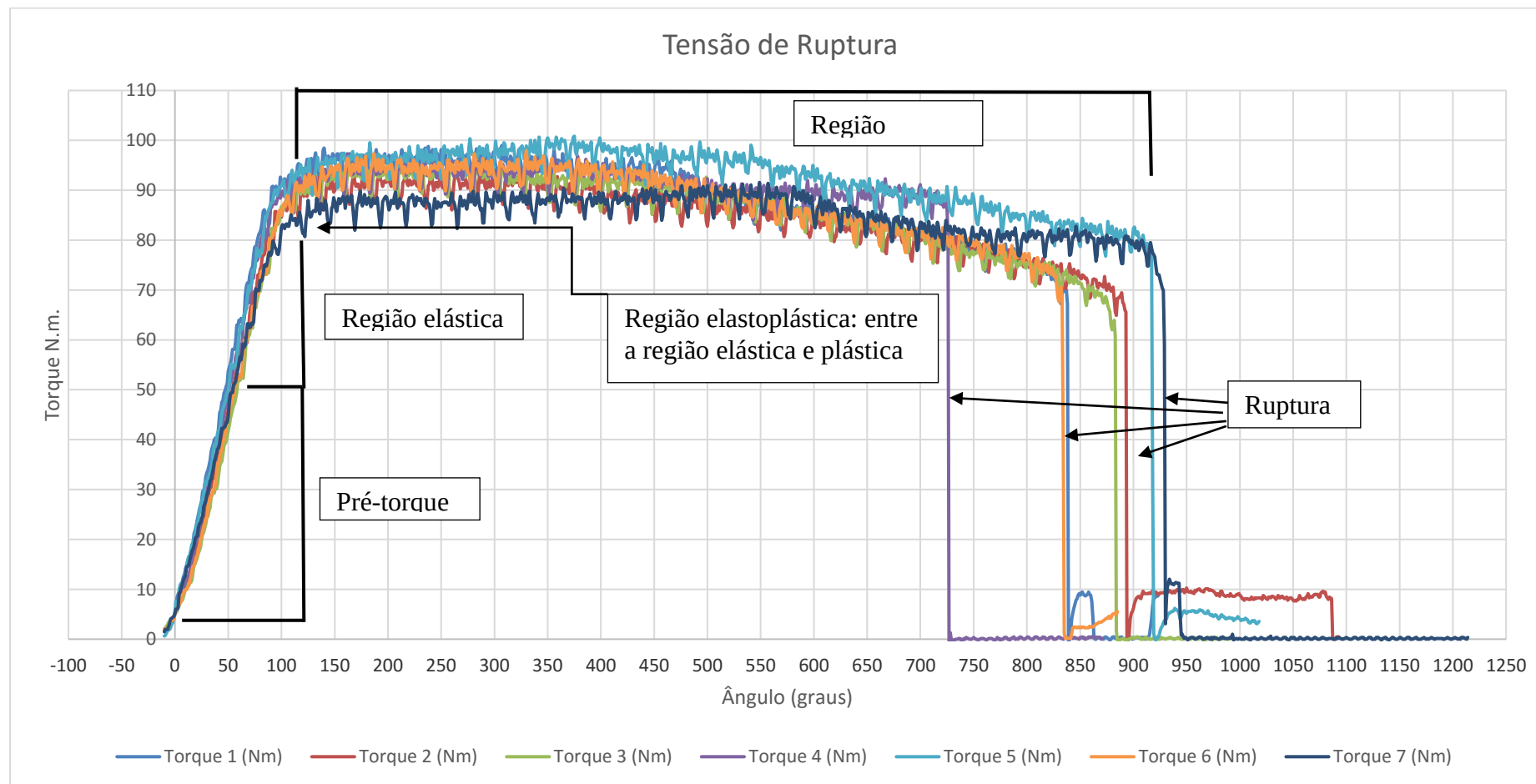


Gráfico2: Tensão de ruptura do parafuso do mancal