

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

VINÍCIUS RODRIGO PISSAIA

**REVISÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA E DAS ESPECIFICAÇÕES DO APERTO
EM JUNTAS PARAFUSADAS**

**CAXIAS DO SUL
2014**

VINÍCIUS RODRIGO PISSAIA

**REVISÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA E DAS ESPECIFICAÇÕES DO APERTO
EM JUNTAS PARAFUSADAS**

Relatório apresentado como requisito parcial à conclusão da disciplina de Estágio II do curso de Engenharia Mecânica na Universidade de Caxias do Sul.

Supervisor:
Prof. MSc. Sérgio da Silva Kucera

**CAXIAS DO SUL
2014**


VINÍCIUS RODRIGO PISSAIA

**REVISÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA E DAS ESPECIFICAÇÕES DE
APERTO EM JUNTAS PARAFUSADAS**

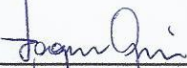
Trabalho de Conclusão de Curso de
Engenharia Mecânica para obtenção
de grau de Engenheiro Mecânico da
Universidade de Caxias do Sul – UCS.

Aprovado em: 27/11/14


Banca Examinadora



Prof. M.eng. Sergio da Silva Kucera
Universidade de Caxias do Sul – UCS



Prof. M.eng. Vagner Grison
Universidade de Caxias do Sul – UCS



Prof. Dr. Alexandre Vieceli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

RESUMO

Neste trabalho foram revisados alguns procedimentos e orientações atualmente adotados na empresa para veículos utilitários, caminhões e chassis, relativos aos itens de segurança e especificações do aperto de juntas parafusadas. Foram acrescentados vinte e dois novos itens de segurança, ou seja, componentes cuja falha ou perda das características funcionais coloca em risco a integridade física dos usuários dos produtos. Em um dos ensaios com juntas parafusadas, foram comparados os torques dinâmico e residual obtidos através de apertos pelo parafuso e pela porca. Concluiu-se que o aperto pela porca com o parafuso fixo proporciona melhores resultados. O comportamento de outras duas juntas, definidas como de segurança, foi analisado utilizando-se o equipamento DTT (determinação torque-tensão) e foram elaboradas estratégias de aperto pela metodologia de torque-ângulo para serem comparadas posteriormente com os resultados obtidos através da estratégia de torque alvo, atualmente utilizada na linha de montagem. Verificou-se que o aperto por torque-ângulo com ferramentas adequadas possibilita um controle mais adequado dos parâmetros do processo que o torque alvo.

Palavras-Chave: Torque. *Recall*. Parafusos. Segurança. Aperto.

ABSTRACT

In this stage were reviewed some procedures and instructions currently used in the company for commercial vehicles, trucks and chassis about the safety components and specifications of tightening bolted joints. Twenty-two new components whose failure or loss of functional characteristics endangers the physical safety of users of the products have been added. First test with bolted joints compared dynamic and residual torques obtained by tightening screw joints by the bolt and the nut. It was concluded that tightening by the nut with the fixed bolt provides better results. The behavior of the other two safety bolted joints was analyzed using the equipment DTT (torque tension determination) and elaborated strategies for tightening by torque-angle methodology for later comparison with the results obtained by the strategy currently used on the assembly line. The results showed that the tightening torque-angle by appropriate tools allows for a better control of the process parameters as the target torque.

Keywords: Torque. *Recall*. Bolts. Safety. Tightening.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrências de campo: Agrale.....	12
Figura 2 - Tensão normal média	21
Figura 3 - Tensão normal num ponto específico	21
Figura 4 - Tensão cisalhante média num ponto específico	22
Figura 5 - Representação das forças	22
Figura 6 - Distribuição de forças.....	23
Figura 7 - Tensão de esmagamento	23
Figura 8 - Deformação específica	24
Figura 9 - Corpo de prova	25
Figura 10 - Descrição de um parafuso segundo sua resistência, no caso, 8.8	27
Figura 11 - Parafuso de porca, parafuso de máquina e prisioneiro.....	31
Figura 12 - Tipos de cabeças para pequenos parafusos de máquinas	32
Figura 13 - Tipos de porcas de travamento disponíveis	33
Figura 14 - Equipamento ACTA 2000	42
Figura 15 - Torquímetro digital	43
Figura 16 - Montagem da pinça do freio no munhão.....	43
Figura 17 - Montagem do semi-eixo no cubo de roda	44
Figura 18 - Equipamento DTT	45
Figura 19 - Corpos de prova pinça do freio	45
Figura 20 - Corpos de prova semi-eixo	46
Figura 21 - Folha de monitoramento dos pontos críticos	48
Figura 22 - Folha de Monitoramento dos Pontos Críticos – Cabines	49
Figura 23 - Gráfico força (kN) / torque (Nm) x ângulo (°) da pinça do freio	51
Figura 24 - Gráfico força (kN) / torque (Nm) x ângulo (°) do semi-eixo	52
Figura 25 - Resultados compilados dos ensaios da pinça do freio.....	52
Figura 26 - Resultados compilados dos ensaios do semi-eixo.....	53
Figura 27 - Corpo de prova do munhão com a face danificada.....	53
Figura 28 - Gráfico do ensaio com escoamento do parafuso allen	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características mecânicas em relação à dimensão da porca e do grau de resistência	26
Tabela 2 - Valores de força axial para diversas bitolas com diferentes graus de resistência	27
Tabela 3 - Valores mínimos para LRT, LE e dureza Rockwell para Parafusos, segundo sua Classe na Resistência	28
Tabela 4 - Comparação de resultados	50
Tabela 5 - Estratégias de aperto	54
Tabela 6 - Resultados dos apertos pinça do freio	54
Tabela 7 - Resultados dos apertos semi-eixo	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo Geral	13
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	RECALL.....	16
2.2	ITENS DE SEGURANÇA	17
2.3	RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.....	19
2.3.1	Tensão	20
2.3.2	Coefficiente de segurança	23
2.3.3	Deformação	24
2.3.4	Diagrama Tensão – Deformação	25
2.3.5	Elementos de fixação	25
2.4	TENSÕES EM ROSCAS	28
2.4.1	Tensão Axial	29
2.4.2	Tensão de Cisalhamento	29
2.4.3	Tensões Torcionais	30
2.5	TIPOS DE PARAFUSOS DE FIXAÇÃO	31
2.5.1	Porcas e arruelas	32
2.6	APERTO DE JUNTAS PARAFUSADAS	33
2.6.1	Solicitação do parafuso durante a montagem	34
2.6.2	Métodos de aparafusamento	35
2.6.2.1	Aperto controlado por torque	35
2.6.2.2	Aperto por controle de ângulo (Torque-Ângulo)	36
2.6.2.3	Aperto por controle de escoamento (<i>Yield Point</i>)	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	ITEM DE SEGURANÇA	38

3.1.1	Revisão dos itens de segurança	40
3.2	TORQUES.....	40
3.2.1	Revisão das especificações de aperto	41
3.2.1.1	Comparação do aperto pela cabeça do parafuso e pela porca	42
3.2.1.2	Avaliação dos métodos de aparafusamento.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	REVISÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA.....	47
4.2	COMPARAÇÃO DO APERTO PELA CABEÇA DO PARAFUSO E PELA PORCA	49
4.3	AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE APARAFUSAMENTO.....	51
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	APÊNDICES	60
	APÊNDICE A - ENSAIOS DE APERTO PELA PORCA E PARAFUSO	61
	APÊNDICE B - ENSAIO DTT AMOSTRA 1 - PINÇA DO FREIO.....	63
	APÊNDICE C - ENSAIO DTT AMOSTRA 2 - PINÇA DO FREIO.....	63
	APÊNDICE D - ENSAIO DTT AMOSTRA 3 - PINÇA DO FREIO.....	64
	APÊNDICE E - ENSAIO DTT AMOSTRA 4 - PINÇA DO FREIO.....	64
	APÊNDICE F - ENSAIO DTT AMOSTRA 6 - PINÇA DO FREIO	65
	APÊNDICE G - ENSAIO DTT AMOSTRA 7 - PINÇA DO FREIO.....	65
	APÊNDICE H - ENSAIO DTT AMOSTRA 8 - PINÇA DO FREIO.....	66
	APÊNDICE I - ENSAIO DTT AMOSTRA 9 - PINÇA DO FREIO	66
	APÊNDICE J - ENSAIO DTT AMOSTRA 10 - PINÇA DO FREIO	67
	APÊNDICE K - ENSAIO DTT AMOSTRA 1 - SEMI-EIXO.....	67
	APÊNDICE L - ENSAIO DTT AMOSTRA 2 - SEMI-EIXO	68
	APÊNDICE M - ENSAIO DTT AMOSTRA 3 - SEMI-EIXO	68
	APÊNDICE N - ENSAIO DTT AMOSTRA 4 - SEMI-EIXO.....	69
	APÊNDICE O - ENSAIO DTT AMOSTRA 5 - SEMI-EIXO	69
	APÊNDICE P - ENSAIO DTT AMOSTRA 6 - SEMI-EIXO.....	70
	APÊNDICE Q - ENSAIO DTT AMOSTRA 8 - SEMI-EIXO	70
	APÊNDICE R - ENSAIO DTT AMOSTRA 9 - SEMI-EIXO.....	71

APÊNDICE S - ENSAIO DTT AMOSTRA 10 - SEMI-EIXO	71
APÊNDICE T - ESTRATÉGIAS DE APERTO PINÇA DO FREIO	72
APÊNDICE U - ESTRATÉGIAS DE APERTO SEMI-EIXO	73
ANEXOS	74
ANEXO A – CIRCULAR DPAT 027/2013.....	75
ANEXO B – CIRCULAR DPAT 060/2013.....	76
ANEXO C – LAUDO TÉCNICO	77
ANEXO D – PD 0021/9	78
ANEXO E - PR 0012/0 – TORQUES CONJUNTO CHASSI.....	78
ANEXO F - PR 0021/1 – DEFINIÇÃO DE TORQUE NO PROCESSO DE MONTAGEM	79
ANEXO G – TABELA 100.011	80

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística completou recentemente 100 anos e teve períodos marcantes no que diz respeito à gestão. Os Sistemas Fordista e Toyota de Produção, por exemplo, eram tidos como padrões perfeitamente ajustados às condições da manufatura de suas respectivas épocas. Houve também crises que redirecionaram o rumo das grandes fábricas de automóveis e alteraram inclusive o contexto da economia mundial, como a do petróleo, em 1973.

Nos dias atuais, a competição no mercado automobilístico é extremamente grande e influenciada pelo acréscimo de novas marcas e modelos disponibilizados ao consumidor, oriundas de montadoras de diversas nacionalidades. O grau de tecnologia e sofisticação empregado aos veículos, seja automóveis, caminhões ou ônibus, é crescente e as exigências de qualidade, confiabilidade e principalmente segurança são cada vez maiores.

É neste último quesito, segurança, que se enquadra um dos principais causadores de *recalls* da indústria automobilística moderna: o parafuso.

“Estima-se que o parafuso é responsável por mais de 80 % dos *recalls* que ocorrem na indústria automobilística. E a causa vai desde a má definição do parafuso para a aplicação específica, passando por problemas de qualidade, processos de aperto, etc.” (GARCIA, 2013, p. 26).

Na maioria das empresas, o parafuso, cujas funções podem ser as mais variadas possíveis, recebe pouca atenção tanto em seu dimensionamento e definição no projeto quanto nos processos de aperto. Além disso, existem juntas com graus de responsabilidade diferenciados. Assim a falha ou perda das características funcionais de uma delas pode tanto acarretar nada ou muito pouco à máquina ou equipamento como colocar em risco a integridade física dos seus usuários.

1.1 JUSTIFICATIVA

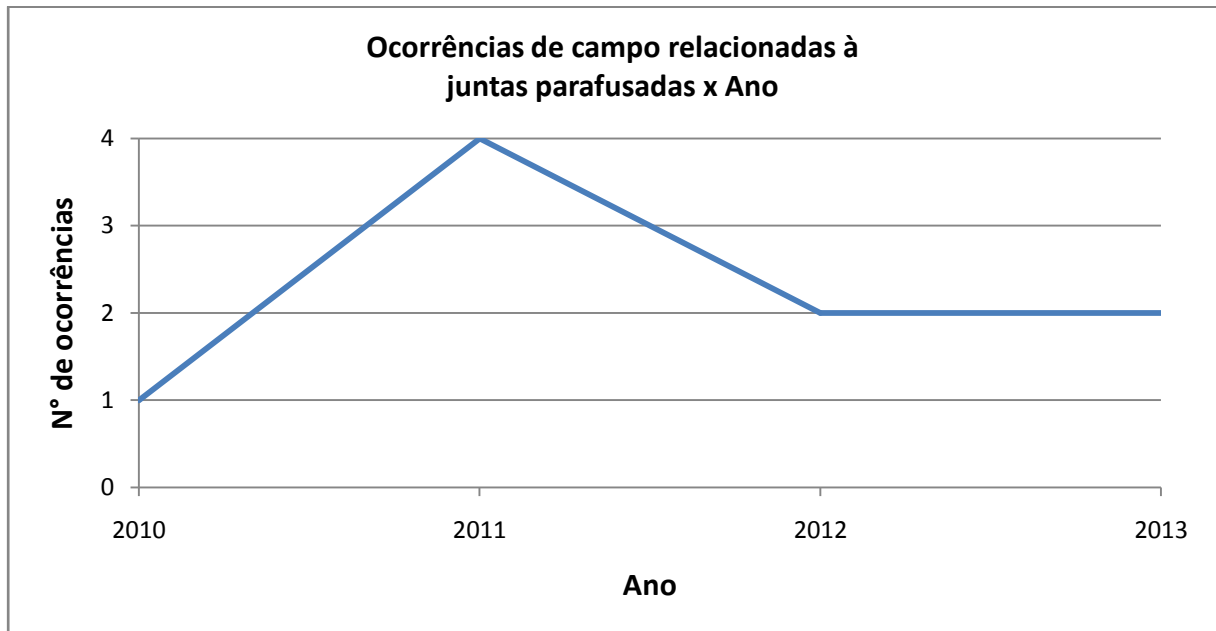
Levando-se em consideração a representatividade da empresa para o mercado e para a sociedade em geral e a citação da introdução sobre o percentual

de casos de *recall* da indústria automobilística relacionados aos parafusos, que se dá a justificativa do estágio.

Os elementos de fixação e suas nuances são fundamentais para o sucesso ou não de um projeto, podendo torná-lo robusto e confiável ou então levá-lo ao insucesso carregando consigo o nome e a marca da fabricante responsável.

A Agrale possui em seu histórico alguns problemas de campo relacionados a uniões parafusadas que apresentaram falhas originadas por diversas causas. A figura abaixo mostra o histórico recente (de 2010 a 2013) destas ocorrências.

Figura 1 – Ocorrências de campo: Agrale



Fonte: Elaborado pelo autor

Com mais detalhes, abaixo se explanam três casos ocorridos nos últimos anos de problemas relacionados a parafusos em itens de segurança.

- Substituição do parafuso de fixação do braço de direção dos chassis Volare V8L 4x4 EURO III 115 cv: conforme documento CIRC/DPAT (Circular/ Departamento de Assistência Técnica) 027/13 (Anexo A) de Maio de 2013, orientando a substituição dos parafusos M 16 x 1,5 x 65 Classe 10.9 Zincados por parafusos M 16 x 1,5 x 75 Classe 10.9 Organometálicos (cinza fosco) em função dos primeiros terem apresentado casos de perda de torque excessiva em aplicação ou quebra por fratura frágil.

A ação de campo citada foi realizada em 350 chassis que já haviam sido entregues a clientes espalhados por diversos estados brasileiros como, por exemplo, São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Amazonas, Roraima, Bahia e Rio Grande do Norte.

- Substituição dos parafusos de fixação dos mancais da cabine dos caminhões Agrale: conforme CIRC/DPAT 060/2013 (Anexo B) de Dezembro de 2013, com a finalidade de informar e orientar a rede de concessionários Agrale quanto a possibilidade de quebra dos parafusos M10x40 fixadores dos conjuntos mancais da cabine, implicando em sua deformação.

- Substituição dos parafusos de fixação da pinça do freio dianteiro dos utilitários Agrale Marruá: ocorrência de casos em campo de desaperto ou quebra dos parafusos M12x30 Classe 12.9 Zincado Amarelo utilizados na fixação do componente pinça do freio das rodas dianteiras de todos os modelos dos utilitários Marruá. Tal parafuso foi substituído pelo M12x30 Classe 10.9 Organometálico Flangeado.

Segundo Laudo Técnico (Anexo C) emitido pelo LAMET – Laboratório de Metalografia – da Universidade de Caxias do Sul, a análise macrográfica de um parafuso idêntico mostrou que a fratura apresentou comportamento frágil, isto é, não houve estrição do material. Além disso, teste de hidrogênio realizado mostrou grande quantidade de bolhas de hidrogênio, o que evidencia a fragilidade do parafuso causada por esse elemento.

Os custos envolvidos na substituição dos parafusos da pinça do freio em campo (análises laboratoriais para investigação do problema, custo de componentes, diárias de assistentes técnicos, deslocamentos aéreos e rodoviários, dentre outros) resultaram em R\$ 94.760,00.

1.2 OBJETIVOS

Abaixo são apresentados os objetivos geral e específicos do presente estágio.

1.2.1 Objetivo Geral

Revisar os itens de segurança e a especificação de aperto em juntas parafusadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

No intuito de alcançar o objetivo geral, listam-se abaixo os específicos:

- a) levantar procedimentos e orientações adotados pela empresa quanto aos itens de segurança de seus produtos e ao aperto de juntas parafusadas;
- b) revisar bibliografia referente a juntas parafusadas;
- c) propor intervenção no(s) procedimento(s) pertinente(s) adotado(s) pela empresa.
- d) realizar o aperto de juntas parafusadas pela cabeça do parafuso e pela porca, monitorando o torque residual e comparando os resultados obtidos.
- e) ensaiar o aperto de juntas parafusadas pelos métodos de controle de torque e controle de torque-ângulo, monitorando parâmetros e comparando os resultados obtidos.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A Agrale e suas subsidiárias (Agrale Montadora, Agrale Argentina, Agrale Comercial e Lintec) produzem atualmente linhas de tratores, utilitários 4x4, chassis para ônibus, caminhões, motores e geradores. É a principal empresa do grupo Francisco Stedile, formado também pela Agritech Lavrale S.A, Germani Alimentos, Germani Cereais, Fundituba e Fazenda Três Rios.

Desde a sua fundação, em 14 de Dezembro de 1962, quando denominou-se inicialmente de Agrisa – Indústria Gaúcha de Implementos Agrícolas e produzia motocultivadores e motores diesel, os produtos da Agrale focam nichos de mercado pouco explorados. No ano passado, a empresa atingiu as marcas de 80 mil unidades de tratores produzidos e 100 mil veículos.

A empresa é a única montadora brasileira com capital 100 % nacional e atingiu, nos últimos dois anos, faturamentos superiores a 1 (um) bilhão de reais. Abaixo, segue breve descrição das principais unidades da Agrale.

Unidade 1 – Caxias do Sul/ RS: montadora de tratores e motores, além de produzir componentes para as demais plantas.

Unidade 2 – Caxias do Sul/ RS: possui as linhas de montagem dos chassis leves (até 10 toneladas de peso bruto total), médios (até 17 toneladas de pbt),

caminhões e utilitários 4x4. É nesta unidade, no setor de Engenharia de Processos, que está sendo realizado o presente estágio.

Unidade 3 – Caxias do Sul/ RS: produz as cabines dos caminhões e utilitários, além de componentes automotivos.

Agrale Argentina– Mercedes, província da capital Buenos Aires: montadora de chassis para ônibus (largamente utilizados no transporte urbano de Buenos Aires, por exemplo) e, desde 2013, produz também tratores Agrale no país vizinho.

A empresa é a líder de mercado no Brasil no segmento de chassis para micro-ônibus há mais de treze anos, principalmente pela qualidade e versatilidade de seus produtos e também pela importante parceria que possui com a Volare, unidade de negócios LCV – Veículos Comerciais Leves, pertencente à Marcopolo S.A.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Abaixo são abordados assuntos pertinentes ao presente estágio.

2.1 *RECALL*

O objetivo geral do presente estágio possui vínculo íntimo com o propósito da empresa de evitar que os seus produtos apresentem falhas que exponham os clientes a riscos de qualquer natureza. Desta forma, se previne que haja a necessidade de publicação de *recalls*.

Conforme Lima, Abrão e Pertence (2011), na indústria moderna de petróleo e gás, exigente por natureza, isso não é diferente. As empresas querem ter a certeza de que seus flanges utilizados em tubulações que trabalham com altos valores de pressão, expondo seus empregados aos riscos de explosões e vazamentos, estão bem dimensionados, montados, torqueados e mantidos adequadamente.

Segundo o Ministério da Justiça (2007), o *recall* é a forma pela qual um fornecedor vem a público informar que seu produto ou serviço apresenta riscos aos consumidores. Ao mesmo tempo, recolhe produtos, esclarece fatos e apresenta soluções.

Ainda de acordo com o portal, segundo a Lei número 8.078/90 (Código de Defesa do Consumidor - CDC), o fornecedor não pode colocar no mercado de consumo, produto ou serviço que apresente alto grau de risco à saúde ou segurança das pessoas. Caso o fornecedor venha a ter conhecimento da existência de defeito após a inserção desses produtos ou serviços no mercado, é sua obrigação comunicar o fato imediatamente às autoridades e aos consumidores.

O fornecedor deve garantir que a expectativa do consumidor em relação à adequação e, principalmente, à segurança dos produtos ou serviços seja efetivamente correspondida. A regra, portanto, é de que os produtos ou serviços colocados no mercado de consumo não podem acarretar riscos à saúde e segurança dos consumidores, exceto aqueles considerados normais e previsíveis em razão da sua natureza e uso (objetos cortantes, combustível, medicamentos, etc).

Tendo em vista que o objetivo do *recall* é proteger o consumidor de acidentes ocasionados por defeitos, um dos aspectos mais relevantes é a ampla e correta divulgação dos avisos de risco de acidentes na mídia (jornal, rádio e televisão), com informações claras e precisas quanto ao objetivo do *recall*, descrição do defeito e riscos, além das medidas preventivas e corretivas que o consumidor deve tomar.

2.2 ITENS DE SEGURANÇA

A Agrale possui um procedimento interno que descreve conceitualmente os itens de segurança e especifica quais são tais componentes para cada linha de produto da empresa.

No que diz respeito aos itens de segurança por parte da legislação vigente no Brasil, a aprovação na inspeção de segurança prevista no artigo 104 do Código de Trânsito Brasileiro é exigência obrigatória para o licenciamento do veículo automotor.

De acordo com o Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, a inspeção técnica tem por objetivo inspecionar e atestar as reais condições dos itens de segurança da frota em circulação e deve ser realizada de acordo com a resolução número 84, de 19 de Novembro de 1998.

A seguir, a relação dos itens inspecionados:

I – Identificação do veículo

- a) Autenticidade da identificação e de sua documentação;
- b) Legitimidade da propriedade;
- c) Preservação das características de fábrica dos veículos e seus agregados.

II – Equipamentos obrigatórios e proibidos

III – Sistema de sinalização

- a) Lanternas;
- b) Luzes intermitentes de advertência;
- c) Retro-refletores.

IV – Sistema de iluminação

- a) Faróis principais;
- b) Faróis auxiliares;
- c) Lanterna de iluminação de placa traseira;
- d) Luzes do painel.

V – Sistema de freios

- a) Freios de serviço;
- b) Freios de estacionamento;
- c) Comandos;
- d) Servofreio;
- e) Reservatório do líquido do freio;
- f) Reservatório de ar/vácuo;
- g) Circuito de freio;
- h) Discos, tambores, pratos e componentes.

VI – Sistema de direção

- a) Alinhamento de rodas;
- b) Volante e coluna;
- c) Funcionamento;
- d) Mecanismo, barras e braços;
- e) Articulações;
- f) Servodireção hidráulica;
- g) Amortecedor de direção.

VII – Sistema de eixo e suspensão

- a) Funcionamento da suspensão;
- b) Eixos;
- c) Elementos elásticos;
- d) Elemento de articulação;
- e) Elemento de regulagem.

VIII – Pneus e rodas

- a) Desgaste da banda de rodagem;

- b) Tamanho e tipo dos pneus;
- c) Simetria dos pneus e rodas;
- d) Estado geral dos pneus;
- e) Estado geral das rodas ou aros desmontáveis.

IX – Sistemas de componentes complementares

- a) Portas e tampas;
- b) Vidros e janelas;
- c) Bancos;
- d) Alimentação de combustível;
- e) Estado geral da carroceria;
- f) Chassi e estrutura do veículo.

Os defeitos constatados na inspeção de veículos obedecem à classificação abaixo.

DMG – Defeito muito grave: defeito que coloca em risco a segurança do trânsito, sendo vedada a sua circulação até a comprovação do conserto.

DG – Defeito Grave: defeito que põe em risco a segurança do trânsito, devendo ser observados os cuidados para circulação até a realização de nova inspeção em prazo fixado pelo poder concedente.

DL – Defeito Leve: defeito que não provoca risco à segurança do trânsito, sendo autorizada a circulação para conserto.

2.3 RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

Quando se trata do assunto “definição do aperto em juntas parafusadas” é obrigatória uma revisão conceitual sobre a resistência dos materiais. Segundo Hibbeler (2000, p. 2), “a mecânica dos materiais é o ramo da mecânica que estuda as relações entre as cargas externas aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas atuantes no corpo”.

Ainda de acordo com o autor, no projeto de qualquer estrutura ou máquina, é necessário, inicialmente, utilizar-se dos princípios da estática para determinação das forças externas e internas sobre seus vários elementos. As dimensões de um

elemento, seus deslocamentos e sua estabilidade dependem não apenas das cargas internas, mas também do tipo de material com que o elemento é fabricado.

Já para Beer e Johnston (1995), a mecânica dos materiais tem o objetivo de proporcionar ao engenheiro os meios que o habilitem para a análise e projeto de várias estruturas de máquinas, sujeitas a diferentes carregamentos. O estudo do comportamento de elementos construtivos permite que sejam adequadamente dimensionados para suportar os esforços previstos nas condições de utilização.

Os tipos de esforços mais comuns aos quais são submetidos os elementos construtivos são:

- Tração: a força atuante tende a provocar um alongamento do elemento na sua direção.

- Compressão: a força atuante tende a produzir uma redução de tamanho do elemento na sua direção.

- Flexão: a força atuante provoca uma deformação no elemento perpendicular a ela.

- Torção: as forças atuam em um plano perpendicular ao eixo de tal forma que cada seção transversal do objeto sob a ação do esforço tende a girar em relação as outras.

- Flambagem: é um esforço de compressão em uma barra de seção transversal pequena em relação ao comprimento, que tende a produzir uma curvatura na barra.

- Cisalhamento: forças atuantes tendem a produzir um efeito de corte, isto é, um deslocamento linear entre seções transversais adjacentes.

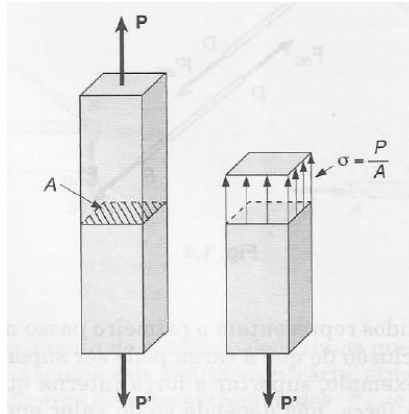
Nas situações práticas, muitas vezes ocorre uma combinação de dois ou mais tipos de esforços. Há alguns casos em que um tipo é predominante e os demais podem ser desprezados. Porém na maioria das vezes devem ser considerados de forma conjunta.

2.3.1 Tensão

Para Beer e Johnston (1995), a análise e o projeto de uma dada estrutura implica na determinação das tensões e deformações.

A tensão normal média em uma barra sob a ação de força axial (conforme mostrado na Figura 2 e Equação 1) é obtida dividindo-se o módulo P da força pela área A .

Figura 2 – Tensão normal média

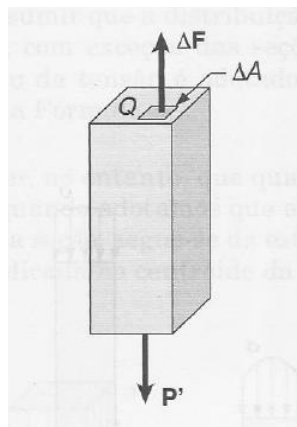


Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 4.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Para a obtenção da tensão em um ponto específico Q da seção transversal, deve-se considerar uma pequena área ΔA , conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Tensão normal num ponto específico



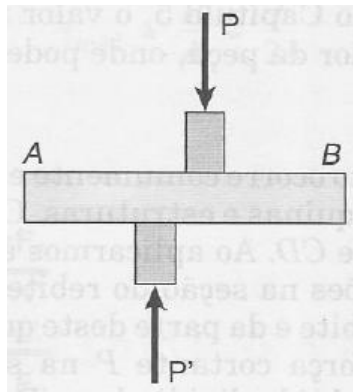
Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 7.

$$\sigma = \lim \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2)$$

Dividindo-se a intensidade de ΔF por ΔA (Equação 2), obtém-se o valor médio da tensão em ΔA . Fazendo então ΔA tender a zero, obtém-se a tensão no ponto Q.

Para a tensão de cisalhamento, considerando a aplicação de duas forças P e P' em uma barra AB, na sua direção transversal, a tensão média de cisalhamento é mostrada na Figura 4. Sendo P a resultante das forças internas da barra (força cortante na seção).

Figura 4 - Tensão cisalhante média num ponto específico

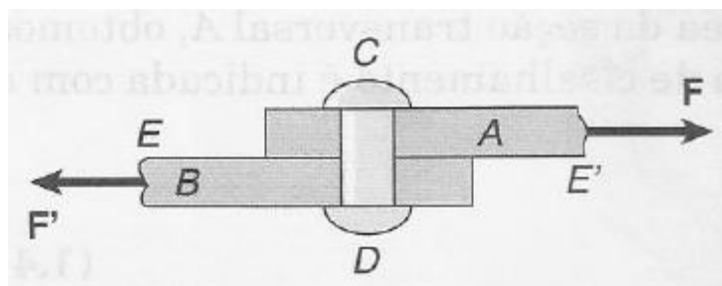


Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 11.

$$\tau \text{ méd} = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Em juntas sem pré carga dos elemento de fixação, os parafusos, pinos e rebites provocam tensões de esmagamento nas barras que ligam entre si, ao longo da superfície de contato. A Figura 5 ilustra o caso de duas chapas A e B ligadas pelo rebite CD, que exerce na placa A uma força F igual e de sentido contrário à F', aplicada sobre o rebite pela placa B.

Figura 5 - Representação das forças

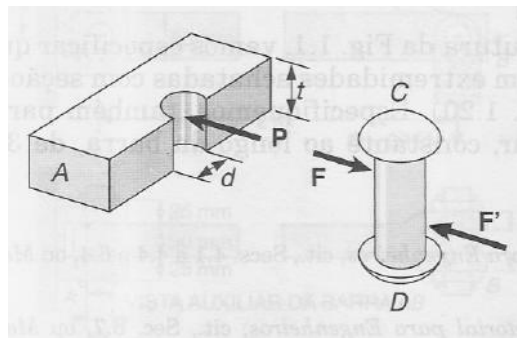


Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 12.

A força P representa a resultante das forças elementares que se distribuem ao longo da superfície interna do semicilindro de diâmetro d e comprimento t , igual à espessura da chapa. A distribuição das tensões ao longo dessa superfície cilíndrica é de difícil obtenção e, na prática, se utiliza um valor nominal médio para a tensão. A esse valor nominal dá-se o nome de tensão de esmagamento.

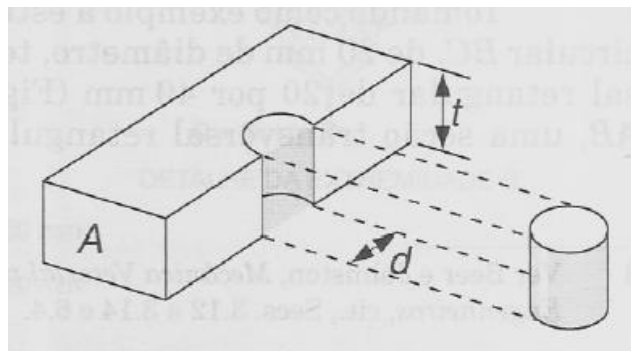
Conforme ilustrado pelas Figuras 6 e 7, este valor é obtido dividindo-se a força P pela área do retângulo que representa a projeção do rebite sobre a seção da chapa. Esta área é igual a t multiplicado por d , onde t é a espessura da chapa, e d é o diâmetro do rebite. E assim pode-se calcular a tensão de esmagamento.

Figura 6 - Distribuição de forças



Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 13.

Figura 7 - Tensão de esmagamento



Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 14.

$$\sigma_E = \frac{P}{A} = \frac{P}{td} \quad (4)$$

2.3.2 Coeficiente de segurança

Dentro das aplicações da engenharia, a determinação de tensões não é o objetivo final, mas um passo necessário na análise e projeto estrutural. Para tanto, é

necessário ter o conhecimento de como o material a ser utilizado se comporta sob a ação de carregamentos conhecidos. Tais informações podem ser obtidas de maneira experimental através da aplicação de cargas controladas em amostras do material de interesse.

Um componente estrutural deve ser projetado de forma que a carga última seja consideravelmente maior que o carregamento que essa peça irá suportar em condições normais de utilização. Tal carregamento menor é chamado de carregamento admissível. Então, quando se aplica a carga admissível, apenas uma parte da capacidade de resistência do material está sendo utilizada; outra parte é reservada para assegurar ao material condições de utilização segura.

A relação entre o carregamento último e o carregamento admissível é dada pelo coeficiente de segurança, conforme equação 5.

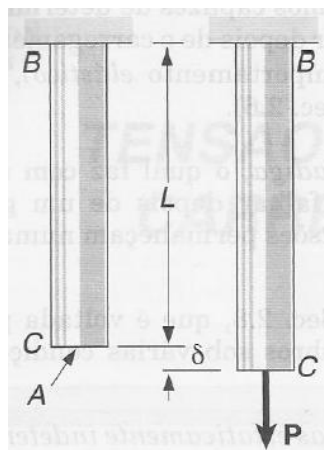
$$\text{Coeficiente de Segurança} = CS = \frac{\text{Carga última}}{\text{Carga admissível}} \quad (5)$$

2.3.3 Deformação

A aplicação de cargas a uma estrutura causa deformações que devem ser analisadas para que não se tornem tão grandes a ponto de impedir o cumprimento dos fins para os quais foi projetada.

A deformação específica de uma barra BC (Figura 8), com comprimento L, submetida a uma carga P é dada conforme abaixo.

Figura 8 - Deformação específica



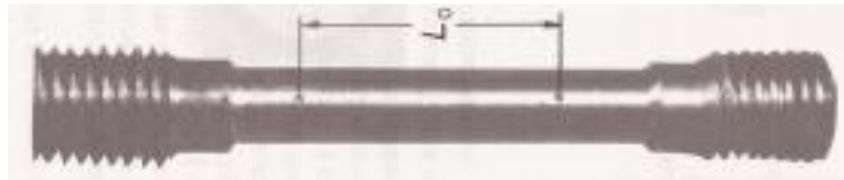
Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 66.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (6)$$

2.3.4 Diagrama Tensão – Deformação

O diagrama representa as relações entre tensões e deformações específicas de um dado material. A sua obtenção se dá, geralmente, através de um ensaio de tração do material em análise, em que comumente se utiliza um corpo de prova típico (Figura 9). A área da seção transversal da parte cilíndrica central é medida cuidadosamente e duas marcas são desenhadas no corpo do cilindro, separadas de uma distância L_0 .

Figura 9 - Corpo de prova



Fonte: BEER e JOHNSTON JR. 1996, p. 69.

O corpo de prova é levado à máquina de teste utilizada para aplicação da carga de tração centrada. À medida que o valor da tração aumenta, a distância entre as duas marcas do corpo do cilindro aumenta. Um medidor indica a diferença em relação ao comprimento inicial para cada valor de carga aplicada.

Para cada par de valores lidos, calcula-se a tensão dividindo-se a carga pela área da seção transversal inicial do corpo de prova. Calcula-se também a deformação específica dividindo-se o alongamento pelo comprimento inicial entre as duas marcas.

2.3.5 Elementos de fixação

Segundo Garcia (2013), denomina-se elemento de fixação a qualquer peça cuja função é “fixar alguma coisa numa outra coisa” e nessa categoria pode-se citar os anéis elásticos, as abraçadeiras, os pinos, as porcas, os prisioneiros, os rebites, entre outros.

No que diz respeito às porcas, os esforços inerentes sempre serão de ordem axial e isto as relaciona diretamente ao conceito de resistência à tração (esforço axial).

A Tabela 1 relaciona características mecânicas em função do grau de resistência desses elementos de fixação.

Tabela 1 - Características mecânicas em relação à dimensão da porca e do grau de resistência

Grau	6	8	10	12
Bitola	Tração de teste – valores mínimos em MPa			
Até M4	600	800	1.040	1.140
M5 a M6	670	855	1.040	1.140
M7 a M10	680	870	1.040	1.140
M11 a M16	700	880	1.050	1.170
M17 a M39	720	920	1.060	1.200
Dureza Vickers	150 – 302	180 - 353	272 - 353	295 – 353
Material Aço	Baixo Carbono	Médio Carbono	Médio Carbono (ou Ligado)	
Tratamento Térmico	Temperado e Revenido	Produto Temperado e Revenido		

Fonte: GARCIA, 2013, p. 27.

Para um melhor entendimento da capacidade de um elemento de fixação, os valores das tabelas 2 e 3 devem ser convertidos em força. Para converter tração em força é necessário calcular a área resistiva (A), conforme a equação abaixo (válida para séries de roscas normal e fina).

$$A = \frac{\pi}{4} (D - 0,9328 \cdot p)^2 \quad (7)$$

Onde:

D = diâmetro nominal do elemento de fixação (mm)

p = passo (mm)

A tabela 2 relaciona alguns exemplos com os respectivos valores de força axial (em kN) para os diversos graus de resistência, calculados a partir da mínima tração de teste.

Tabela 2 - Valores de força axial para diversas bitolas com diferentes graus de resistência

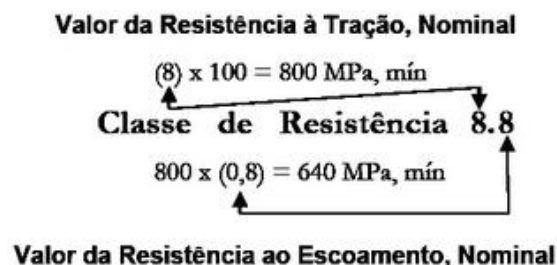
Força axial, em kN, em função da bitola					
Porca	Área (mm²)	Grau6	Grau8	Grau10	Grau 12
M6 x 1,00	20,17	13,5	17,2	21,0	23,0
M8 x 1,25	36,68	24,9	31,9	38,1	41,8
M10 x 1,50	58,10	39,5	50,5	60,4	66,2
M12 x 1,75	84,42	59,1	74,3	88,6	98,8
M14 x 2,00	115,65	81,0	101,8	121,4	135,3
M16 x 2,00	156,91	109,8	138,1	164,8	183,6
M18 x 2,50	192,8	138,8	177,4	204,4	231,4
M20 x 2,50	245,17	176,5	225,6	259,9	294,2

Fonte: GARCIA, 2013, p. 28.

Para o caso dos parafusos, a classificação da resistência segue uma terminologia particular. Os parafusos utilizados pela indústria automobilística, por exemplo, são identificados por classes, quais sejam: 4.8, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9 e 12.9.

Os parafusos das classes 4.8, 5.8 e 6.8 não sofrem tratamento térmico, enquanto os das classes 8.8, 10.9 e 12.9 são temperados e revenidos. O significado da terminologia que classifica os parafusos pode ser compreendido através do exemplo mostrado na Figura 10, que se refere a um parafuso de classe 8.8.

Figura 10– Descrição de um parafuso segundo sua resistência, no caso, 8.8



Fonte: GARCIA, 2013, p. 28.

A especificação ISO 898 Parte I determina valores mínimos para o Limite de Resistência à Tração (LRT) e Limite de Escoamento (LE) para cada categoria de parafuso. Além disso, recomenda Dureza Rockwell “B” (HR “B”) (para parafusos não

tratados termicamente), Dureza Rockwell “C” (HR “C”) (para parafusos temperados e revenidos). Tais valores são mostrados na tabela a seguir:

Tabela 3 - Valores mínimos para LRT, LE e dureza Rockwell para Parafusos, segundo sua Classe na Resistência

Classe	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9
LRT (min)	540 MPa	600 MPa	800 MPa	1.040 MPa	1.220 MPa
LE (min)	420 MPa	480 MPa	640 MPa	936 MPa	1.100 MPa
HR “B”	82 ~ 99,5	89 ~ 99,5	- O -	- O -	- O -
HR “C”	- O -	- O -	22 ~ 32	32 ~ 39	39 ~ 44

Fonte: GARCIA, 2013, p. 29.

O procedimento utilizado para calcular a capacidade de geração de força que se pode obter de um parafuso requer conhecer as suas características geométricas e a classe de resistência.

Ainda de acordo com Garcia (2013), na região elástica o parafuso se comporta como se fosse uma mola, ou seja, o comportamento é linear e a deformação não é permanente. Assim, se interromper o processo de aperto, o parafuso retorna às dimensões originais, de acordo com a Lei de Hooke.

A partir de uma dada força, começa o processo de deformação permanente em associação ao alongamento do parafuso e nesse ponto entra-se na região denominada elasto-plástica, isto é, o parafuso está em uma zona de deformação que é parcialmente permanente. Ao desapertar o parafuso, o seu comprimento será maior que o original, mas ainda não há estricção considerável.

Ao final da zona elasto-plástica, chega-se à máxima deformação permanente, entrando então na região plástica, onde os parafusos estão próximos ao seu limite de ruptura, condição inaceitável em qualquer processo de aperto.

2.4 TENSÕES EM ROSCAS

Segundo Norton (2004), quando uma porca engaja um parafuso, teoricamente todos os filetes de rosca devem compartilhar a carga. Na realidade, imprecisões no espaçamento dos filetes fazem com que praticamente toda carga seja carregada pelo primeiro par de filetes. Assim, o procedimento conservativo utilizado no cálculo de tensões em filetes de rosca assume o pior caso em que um par de filetes suporta toda a carga.

O outro extremo seria assumir que todos os filetes em contato compartilhem a carga igualmente. A tensão verdadeira estará entre esses dois extremos, mas muito mais provavelmente próxima ao primeiro caso.

2.4.1 Tensão Axial

Para Norton (2004), um parafuso utilizado para mover cargas (parafuso de potência) pode ser submetido a cargas axiais de tração ou compressão. Já em um parafuso de fixação, utilizado somente para manter elementos unidos, normalmente é aplicada apenas carga axial de tração.

2.4.2 Tensão de Cisalhamento

De acordo com Norton (2004), um possível modo de falha por cisalhamento envolve o rasgamento de filetes de rosca tanto da porca quanto do parafuso. Se o material da porca for mais fraco, os seus filetes de rosca podem ser cortados ao longo do seu diâmetro maior. Se o parafuso é mais fraco, pode ter os seus filetes de rosca rasgados ao longo do seu diâmetro menor. Se ambos os materiais possuem resistência idêntica, o conjunto pode ser rasgado ao longo do diâmetro primitivo.

A área sob cisalhamento de rasgamento A_s para um filete de rosca é a área do cilindro de seu diâmetro menor d_r conforme Equação 8.

$$A_s = \pi \cdot d_r \cdot w_i \cdot p \quad (8)$$

Onde:

p = passo da rosca (mm)

w_i = fator que define a porcentagem do passo ocupado pelo metal no diâmetro menor

Para o rasgamento da porca no seu diâmetro maior, a área sob cisalhamento para um file de rosca é:

$$A_s = \pi \cdot d \cdot w_f \cdot p \quad (9)$$

Onde:

w_f = fator que define a porcentagem do passo ocupado pelo metal no diâmetro maior

A tensão de cisalhamento para rasgamento de rosca é então calculada a partir de:

$$\tau_S = \frac{F}{A_s} \quad (10)$$

Em juntas de fricção, em função do movimento relativo entre a união parafusada e os componentes fixados, ocorrem forças cisalhantes na direção transversal dos parafusos. Porém esse tipo de união não será objeto de análise no presente estágio em decorrência das juntas analisadas serem consideradas rígidas.

2.4.3 Tensões Torcionais

Ainda na concepção de Norton (2004), quando uma porca é apertada em um parafuso, ou quando um torque é transmitido através de uma porca de um parafuso de potência, uma tensão de torção pode ser desenvolvida no parafuso. O torque que torce o parafuso depende do atrito na interface parafuso-porca.

Se o parafuso e porca estão bem lubrificados, uma porção menor do torque aplicado é transmitido ao parafuso e uma maior é absorvida entre a porca e a superfície engastada. Se a porca estiver agarrada ao parafuso por causa de ferrugem, todo o torque aplicado irá torcer o parafuso, o que explica por que os parafusos enferrujados normalmente cisalham mesmo quando se tenta afrouxar a porca.

A equação do cômputo das tensões de torção em uma seção circular é dada por:

$$\tau = \frac{T_r}{J} \quad (11)$$

Onde:

T = torque interno resultante na seção transversal (Nm)

r = raio primitivo do parafuso (m)

J = momento polar de inércia (m⁴)

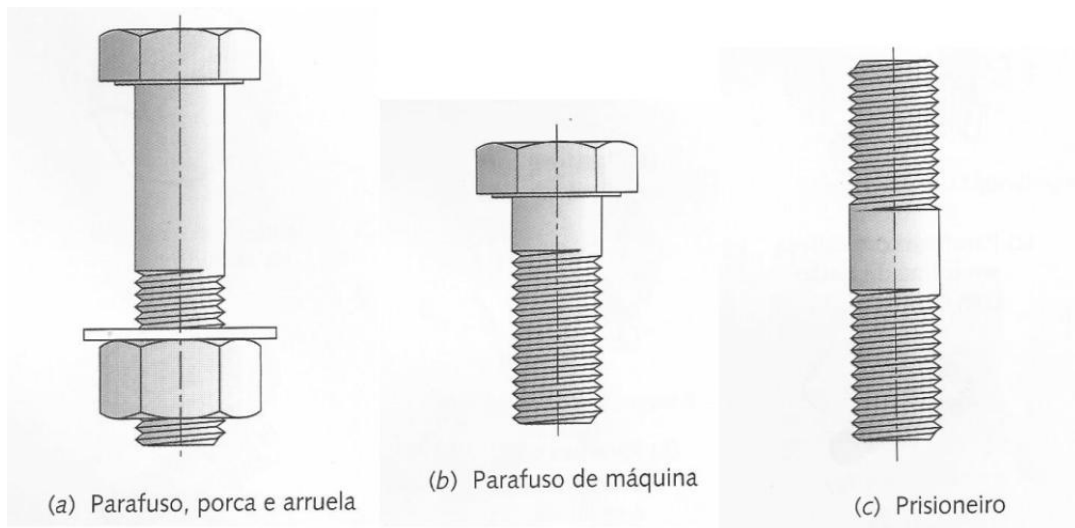
2.5 TIPOS DE PARAFUSOS DE FIXAÇÃO

De acordo com Norton (2004), existe uma grande variedade de tipo de parafusos disponíveis, sendo que alguns são desenvolvidos para aplicações específicas. Os parafusos de fixação podem ser classificados da seguinte forma:

- a) A partir do uso pretendido: um parafuso de porca é um fixador com uma cabeça e um corpo reto, com filetes de rosca cujo uso pretendido prevê a utilização de uma porca para sujeitar e manter as partes de um conjunto unidas. O mesmo parafuso, no entanto, é chamado de parafuso de máquina ou parafuso de cabeça quando é rosqueado a um furo em vez de ser engajado a uma porca.

Um parafuso prisioneiro é um parafuso sem cabeça, com roscas em ambas as extremidades e que se pretende utilizar de maneira semi permanente como metade de uma junta. Cada extremidade do prisioneiro pode ter tanto um passo igual quanto diferente. A Figura 11 mostra os tipos de parafusos comentados aqui.

Figura 11 - Parafuso de porca, parafuso de máquina e prisioneiro

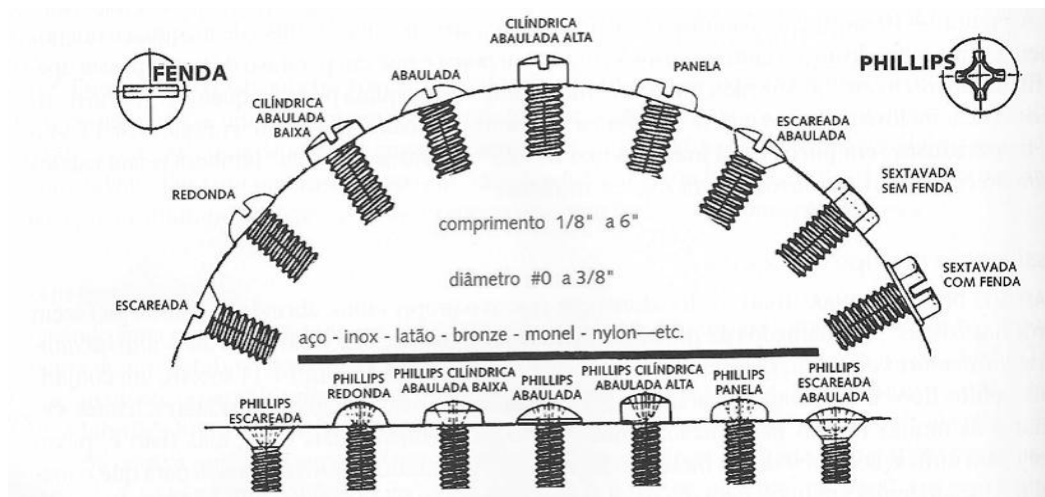


Fonte: NORTON, 2004, p. 773.

- b) A partir do tipo de rosca: os parafusos de atarrachar, por exemplo, são fixadores que fazem o próprio furo. As roscas dos parafusos atarrachantes são similares às muitas formas padronizadas, mas são frequentemente mais espaçadas (ou seja, tem passo maior).

- c) Pelo estilo de cabeça: existem inúmeros tipos de cabeça de parafuso, sendo que, por exemplo, parafusos que requerem torques de fixação maiores utilizam normalmente cabeças hexagonais (com boa resistência para transferir o torque aplicado ao corpo do parafuso). A Figura 12 mostra os diversos tipos de parafusos classificados pelo estilo de cabeça.

Figura 12 - Tipos de cabeças para pequenos parafusos de máquinas



Fonte: NORTON, 2004, p. 773.

2.5.1 Porcas e arruelas

Existe uma imensa variedade de tipos de porcas e arruelas, adaptadas as mais diversas condições e geometrias de aperto. Dentre as porcas, vale ressaltar: porca hexagonal padronizada, de castelo, de cúpula cega, entre outras.

As porcas de travamento, mostradas na Figura 13, por exemplo, servem para prevenir o afrouxamento espontâneo devido à vibração dos conjuntos aos quais são aplicadas. Duas porcas apertadas conjuntamente no parafuso ou uma porca de castelo com um pino conseguem alcançar esse objetivo. Existe também a porca de travamento elíptica que possui os últimos filetes de sua rosca “amassados”, o que gera interferência com os filetes do parafuso quando o conjunto é apertado.

Figura 13 - Tipos de porcas de travamento disponíveis



Fonte: NORTON, 2004, p. 776.

As arruelas, por sua vez, possuem o papel de distribuir uniformemente a pressão exercida pela união aparafusada sobre a junta, evitando assim possíveis deformações do material nesta região.

De acordo com Marcos (2010), a presença de arruelas em uniões aparafusadas evita trincas no material ao longo de sua espessura, embora geralmente o desempenho da junta seja limitado antes pela resistência mecânica do parafuso do que pela resistência do laminado.

2.6 APERTO DE JUNTAS PARAFUSADAS

Uma das aplicações primárias de parafusos e porcas é a de juntar peças em situações tais que as cargas aplicadas colocam o parafuso ou os parafusos em tração. É prática comum pré-carregar a junta apertando os parafusos com suficiente torque para criar cargas de tração que se aproximam às respectivas resistências de prova.

De acordo com Norton (2004), para montagens carregadas de forma estática, uma pré-carga que gera uma tensão no parafuso de até 90% da resistência de prova (valores referentes às porcas mostrados na Tabela 1) é utilizada algumas vezes. Para juntas carregadas dinamicamente, uma pré-carga de 75% ou mais da resistência de prova é comumente utilizada.

Assumindo que os parafusos sejam adequadamente dimensionados para resistir às cargas aplicadas, essas altas pré-cargas tornam pouco provável que os

parafusos rompem em serviço se eles não quebrarem enquanto estão sendo apertados.

O método de aperto de juntas aparafusadas influencia no dimensionamento necessário do parafuso porque, adicionalmente à força axial, o parafuso absorve torque (momento torçor). A maior influência, no entanto, é aquela que provém da variação da pré-tensão no caso de diferentes métodos de aparafusamento.

2.6.1 Solicitação do parafuso durante a montagem

Segundo o Manual da METALAC (2005), na maioria dos casos a pré-carga é gerada pela rotação da porca ou da cabeça dos parafusos. Com isto, o parafuso está sempre sujeito a uma tensão de torção em adição à tensão axial. A relação entre a força de montagem F_M e o momento torçor M_G na rosca pode ser derivado da mecânica dos planos inclinados.

$$M_G = F_M \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho') \quad (12)$$

$$\tan(\varphi) = \frac{p}{\pi} \cdot d_2 \quad (13)$$

$$\tan(\rho') = \frac{\mu_G}{\cos(\alpha/2)} \quad (14)$$

Onde:

φ = ângulo de hélice da rosca

α = ângulo do filete

ρ' = ângulo de atrito da rosca

μ_G = coeficiente de atrito da rosca

d_2 = diâmetro primitivo da rosca (mm)

p = passo da rosca (mm)

Durante o aparafusamento, o limite de escoamento e a força de ruptura são influenciados pela tensão de tração σ_M e pela tensão de torção τ agindo simultaneamente. Para o cálculo da tensão de tração, a tensão total resultante desses fatores é reduzida a um equivalente estado uniaxial de tensões com base na teoria de energia de distorção de Von Mises, assumindo a forma da Equação 15.

$$\sigma_{\text{res}} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (15)$$

2.6.2 Métodos de aparafusamento

A força teórica calculada de pré-tensão em juntas aparafusadas é obtida na prática com um grau de incerteza em função do fator de dispersão. Esse fator influencia de maneira decisiva a variação da força de montagem e depende diretamente do método de aparafusamento utilizado.

Andretta et al. (2014) utilizou pioneiramente o Modelo de Richards (empregado normalmente para representar os mais variados tipos de problemas físicos relacionados a crescimento com comportamento assintótico) no estudo de processos de aperto de elementos de fixação. Tal sistemática é útil na avaliação da força tensora gerada durante um processo de aperto. Permite também propor estratégias de aperto distintas com o objetivo de se obter forças tensoras apropriadas e com menor dispersão.

Isto implica dizer que a definição de qual método deve ser utilizado é extremamente importante. As principais técnicas de aparafusamento são: aperto por controle de torque, aperto por controle de torque-ângulo e aperto controlado até o limite de escoamento (*yield point*).

2.6.2.1 Aperto controlado por torque

De acordo com o Manual da METALAC (2005), os apertos por controle de torque são realizados através de torquímetros indicadores ou sinalizadores. No entanto, aperto com força motriz mediante aparafusadeiras elétricas e pneumáticas também é abrangido por este conceito genérico, porque uma aparafusadeira fornece um momento mensurável e ajustável.

Nos casos de aparafusamento por controle de torque, usando um torquímetro, o erro total acumulado é dado pelos seguintes erros parciais:

- Erros na estimativa dos coeficientes de atrito da rosca e da cabeça do parafuso que incidem no coeficiente de atrito global;
- Dispersão no coeficiente de atrito incluindo desvios dimensionais que influenciam no raio de atrito;

- Imprecisão das ferramentas de aperto, incluindo erros de operação e leitura.

No caso de aparafusadeiras automáticas por controle de torque, pode-se distinguir:

- a) Aparafusadeiras com parada que, numa certa faixa, podem ser ajustadas mediante regulagem de pressão;
- b) Aparafusadeira com embreagem automática, a qual desacopla num momento ajustável;
- c) Aparafusadeira elétrica de precisão com medição de torque dinâmico, geralmente efetuada através da escova da máquina.

2.6.2.2 Aperto por controle de ângulo (Torque-Ângulo)

Ainda segundo o manual, o aperto por controle do ângulo de giro é indiretamente um método de medida do alongamento. Além da compressão das placas e da tração do parafuso, são medidas também as deformações plásticas e elásticas que ocorrem antes do completo fechamento das interfaces, as quais são irregulares e por isso dificultam uma pré-determinação das grandezas.

Máquinas automáticas de acionamento por motores elétricos, equipadas com comandos eletrônicos e *softwares* apropriados, têm-se desenvolvido muito rapidamente dentro do sistema de aparafusamento por controle de ângulo.

Como durante o processo de aparafusamento gera-se curvas de torque *versus* ângulo, é possível, através delas, determinar um coeficiente angular da reta gerada. Da análise dos coeficientes angulares pode-se fazer uma série de controles indiretos dos parafusos e da junta, como qualidade do tratamento superficial, planicidade das placas e dos parafusos, raio de atrito do parafuso, dentro outros.

2.6.2.3 Aperto por controle de escoamento (*Yield Point*)

Conforme o Manual da METALAC (2005), para aparafusamento por controle do limite de escoamento (*yield point*) do parafuso, num sistema eletrônico, o ponto de escoamento é automaticamente identificado. Isto é realizado pela medição do torque e do ângulo de rotação durante o aparafusamento, pela determinação de um gradiente que é equivalente à inclinação da tangente da curva torque *versus* ângulo.

No ponto onde o limite de escoamento é alcançado, o gradiente cai, até atingir uma determinada fração do valor máximo armazenado na memória do computador do sistema, que ativa o sinal de desligamento do motor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos e orientações adotados atualmente pela empresa no que tange os itens de segurança de seus produtos e a especificação de aperto de juntas parafusadas.

3.1 ITEM DE SEGURANÇA

A Agrale define itens de segurança e as exigências de especificações para tais componentes através da norma de Padronização (PD) 0021/9 – ITENS DE SEGURANÇA – Exigências das Especificações (Anexo D).

De acordo com esta norma, item de segurança é todo componente cuja falha ou perda das características funcionais coloca em risco a integridade física dos usuários dos produtos Agrale.

Os itens de segurança para os produtos montados na unidade 2 estão definidos conforme mostrado abaixo:

a) caminhões e chassis:

- suporte dianteiro da mola;
- conjunto eixo dianteiro (viga, ponta eixo, braços e barras transversais);
- cubo de rodas;
- braço pitman;
- barra longitudinal (barra de direção);
- volante de direção;
- eixo coluna de direção;
- engate e trava de segurança da cabine;
- válvula 4 vias do freio;
- suporte do setor;
- conjunto pedal do freio;
- garfo haste do freio;
- pino pedal do freio;
- haste do freio;
- caixa angular de direção;
- eixo de ligação setor;
- adaptador de roda;

b) utilitários:

- conjunto eixo dianteiro (viga, ponta eixo, braços e barras transversais);
- cubo de rodas;
- braço pitman;
- barra longitudinal;
- volante de direção;
- eixo coluna de direção;
- pedal do freio;
- garfo haste do freio;
- barra panhard;
- suporte parafusado barra panhard;
- munhão interno;
- munhão externo;
- pino mestre;
- pino articulação do freio.

A PD 0021/9 cita a definição de FMEA, sigla para Análise de Modo e Efeito de Falha derivada do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*, que nada mais é do que uma metodologia utilizada para assegurar que problemas potenciais sejam considerados e abordados ao longo de todo o processo de desenvolvimento de um produto. Além disso, vincula a necessidade de aplicação desta metodologia para todos os itens de segurança.

Descreve também como deve ser feita a indicação em desenho para os itens de segurança e certas características e especificações que devem ser garantidas ao longo do processo de fabricação de componentes assim definidos.

As definições relativas a essa norma aplicam-se aos itens com desenho próprio da empresa, sendo que a responsabilidade pela garantia das especificações dos componentes de segurança fornecidos por terceiros é do Departamento de Compras (DCOM) e está evidenciada no Manual do Fornecedor Agrale.

3.1.1 Revisão dos itens de segurança

Os itens de segurança atualmente contemplados na norma de Padronização (PD) 0021/9 – ITENS DE SEGURANÇA foram revisados levando-se em consideração o mesmo conceito atualmente utilizado pela empresa para tais componentes: itens cuja falha ou perda das características funcionais coloca em risco a integridade física dos usuários dos produtos Agrale.

O trabalho de revisão dos itens de segurança foi realizado através da metodologia Kaizen, termo japonês que significa “mudar para melhor”. Desta forma, foram reunidos profissionais das diversas áreas da empresa (Engenharias de Processo e Produto, Qualidade, Produção e Logística) pelo período de uma semana.

Atualmente, os produtos possuem uma série de documentos que ficam arquivados por, no mínimo, vinte anos na empresa com o intuito de rastrear as operações realizadas nas linhas de montagem da Agrale.

Os itens de segurança revisados foram inclusos na documentação utilizada pela fábrica, possibilitando a identificação do profissional responsável por cada montagem crítica e também o pré-torque aplicado em juntas de segurança, por exemplo.

Ao final da semana Kaizen, foi realizada uma apresentação para todos os profissionais da fábrica 2 das áreas relacionadas no trabalho de revisão para explicação sobre os novos documentos.

3.2 TORQUES

A Agrale adota atualmente dois procedimentos no que tange o assunto torques, conforme descrito abaixo.

- Procedimento (PR) 0012/0 – TORQUES CONJUNTO CHASSI (Anexo E): especifica as condições exigíveis para a fixação dos componentes do conjunto chassi, utilizando parafusos flangeados.

Tal procedimento determina que o torque seja aplicado na cabeça do parafuso, ou seja, a porca deve estar fixa. Ademais, especifica características e o tratamento superficial que os parafusos e porcas utilizados na fixação do quadro do chassi (fixação de travessas e reforços nas longarinas direita e esquerda) devem ter.

Traz ainda definições quanto à aplicação de vedador anaeróbico (também conhecido como trava química). No final, a PR 0012/0 apresenta anexos com os dados técnicos do fabricante do vedador anaeróbico e, inclusive, com as recomendações sobre a forma de aplicação.

De acordo com o procedimento, a torqueadora (máquina utilizada para aplicação do aperto, pneumática na maioria das vezes na Agrale) deve realizar 60 rotações por minuto (rpm), podendo chegar a picos de 120 rpm no início do torqueamento. Em caso de excesso, pode haver fusão entre o parafuso e a porca.

- PR 0021/1 – DEFINIÇÃO DE TORQUE NO PROCESSO DE MONTAGEM (Anexo F): fixa as condições exigíveis para definir torques necessários ao processo, que são indicados em roteiro de montagem.

Tal procedimento faz uma breve descrição do conceito de torque, define que a unidade de medida utilizada na Agrale é o quilograma força metro (Kgf.m) e explica as três possibilidades de determinação do torque utilizadas na empresa: através de cálculos, testes práticos ou resultados de auditorias.

Através de cálculos, por exemplo, considera os aspectos do esforço ao qual a junta será submetida, o tipo de junta ou material. Segundo o procedimento, a TB (tabela) 100.011 (Anexo G), que é uma tabela genérica para definição de torque que utiliza apenas a bitola e passo do parafuso, a classe e o tratamento superficial, pode auxiliar para os cálculos.

Segundo a PR 0021/1, a Engenharia de Produto deve emitir uma tabela de torque específica para cada produto ou família de produto. No entanto, isso não é realizado no caso de chassis e, muitas vezes, a definição de torques até mesmo em itens de segurança é feita com base na TB 100.011.

3.2.1 Revisão das especificações de aperto

As especificações de aperto adotadas atualmente pela empresa foram revisadas com enfoque principalmente em: comparação do torque residual resultante do aperto de juntas pela cabeça do parafuso e pela porca e avaliação dos métodos de aparafusamento por controle de torque e por controle de torque-ângulo.

3.2.1.1 Comparação do aperto pela cabeça do parafuso e pela porca

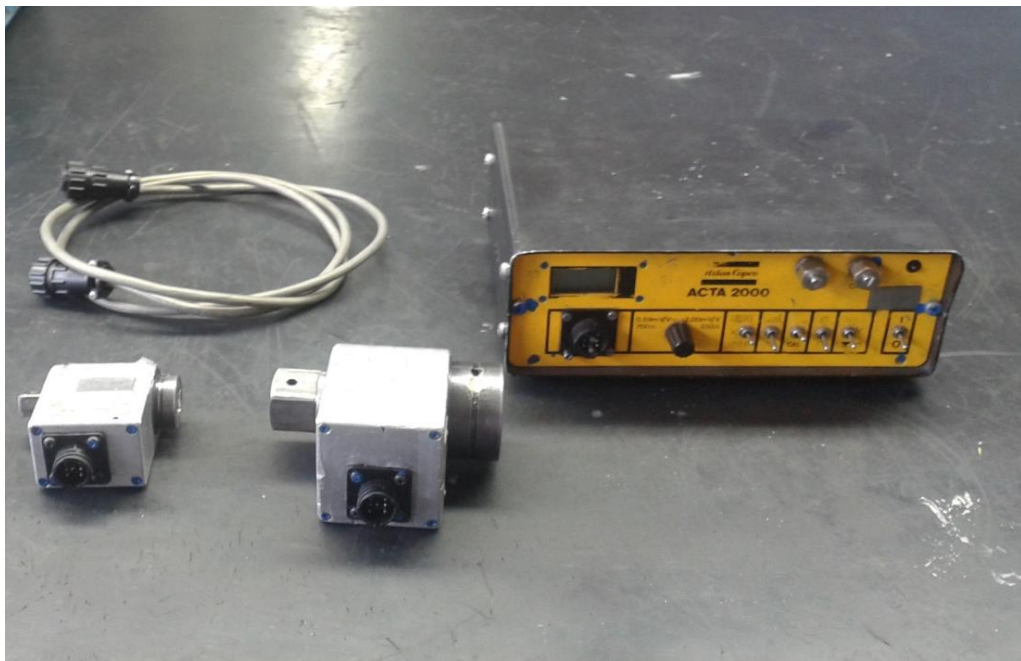
Para a comparação do torque residual resultante do aperto de juntas parafusadas pela cabeça do parafuso e pela porca foram selecionadas juntas do quadro do chassi de micro-ônibus.

Os testes foram realizados em 100uniões parafusadas, sendo 50 na condição de aperto pela cabeça do parafuso com a porca fixa e 50 na condição de aperto pela porca com o parafuso fixo.

As juntas ensaiadas utilizam porcas e parafusos flangeados M12x1,5, organometálicos, com classe de resistência 10.9. Para tal procedimento, utilizou-se uma aparafusadeira pneumática de torque controlado modelo LTV, da marca Atlas Copco, calibrada para o torque de 100 Nm (Newton metro)

Para cada condição, aperto pela cabeça do parafuso com a porca fixa ou aperto pela porca com o parafuso fixo, foi registrado o torque dinâmico (no momento do aperto, com a utilização de um transdutor de torque) através do equipamento ACTA 2000 (Figura 14) da marca Atlas Copco. As medições de torque residual foram realizadas imediatamente após a conclusão dos apertos dinâmicos e na mesma sequência. O torque residual foi medido com torquímetro digital da marca Tramontina (Figura 15).

Figura 14 - Equipamento ACTA 2000



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 - Torquímetro digital



Fonte: Elaborado pelo autor

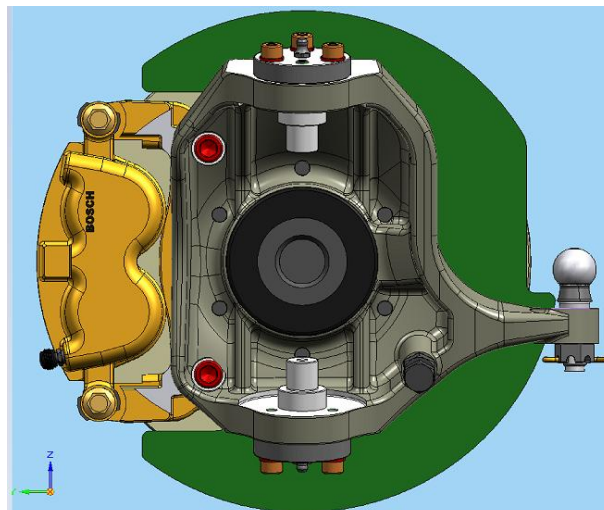
O torque residual foi medido pelo método de avanço da junta parafusada no sentido do aperto, com ângulo admissível de 3 a 6 graus. De acordo com Garcia (2013), esses valores são suficientes para superar a inércia da junta sem alterar consideravelmente o torque aplicado.

3.2.1.2 Avaliação dos métodos de aparafusamento

Em relação aos métodos de aparafusamento por controle de torque e por controle de torque-ângulo, foram selecionadas duas juntas que passaram a constar nos novos itens de segurança para a realização dos testes.

A fixação da pinça do freio dos utilitários Marruá ao munhão do eixo dianteiro (Figura 16) é considerada de segurança, pois uma eventual falha ou perda de função influencia diretamente no desempenho de frenagem do veículo. Os parafusos utilizados (mostrados em vermelho na figura) são M12x1,75x30, sextavado interno (allen), organometálicos, com classe de resistência 10.9..

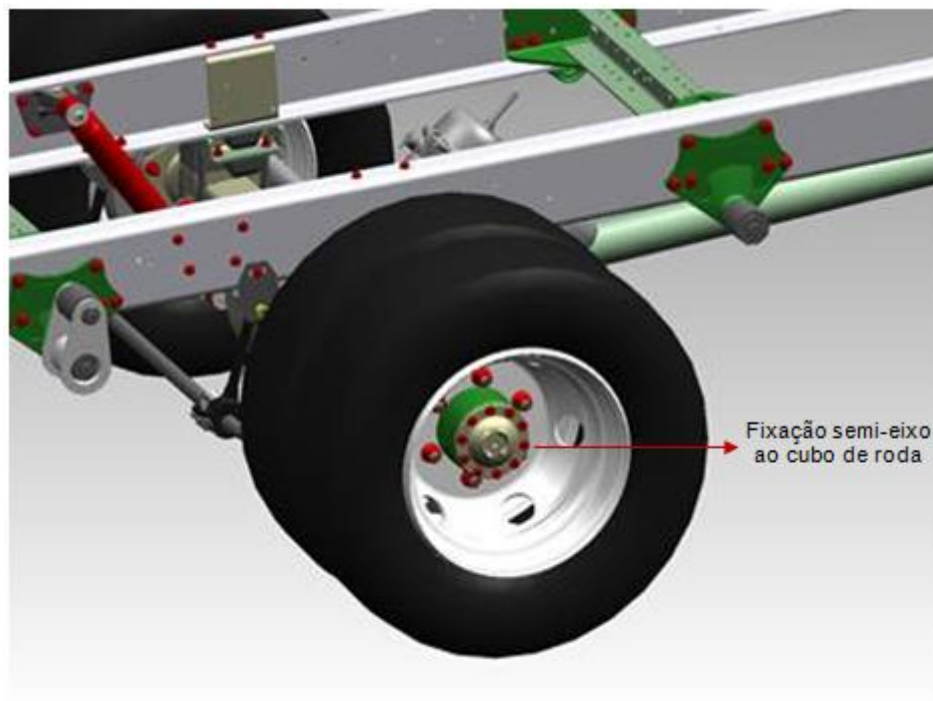
Figura 16 - Montagem da pinça do freio no munhão



Fonte: Agrale (2014)

Já a fixação do semi-eixo do eixo traseiro ao cubo de roda (Figura 17) de chassis para micro-ônibus também é considerada de segurança, pois o desaperto ou colapso dos parafusos pode causar até mesmo o travamento das rodas do eixo traseiro. Os parafusos utilizados são M12x1,5x30, sextavado externo, fosfatizados, com classe de resistência 10.9.

Figura 17 - Montagem do semi-eixo no cubo de roda



Fonte: Agrale (2014)

O estudo dessas juntas compreendeu duas etapas, sendo uma experimental (em laboratório) e uma prática, com aperto na linha de montagem.

A etapa experimental foi realizada na empresa Metalúrgica Hassmann S/A e consistiu no ensaio das juntas citadas com a utilização do equipamento DTT (Determinação Torque-Tensão) (Figura 18) para levantamento das curvas de torque e força tensora em função do ângulo de aperto das juntas.

O DTT é um equipamento destinado a ensaiar juntas rigidamente fixadas, através de célula de carga sensorizada por *strain-gauges* conectada a um sistema de aquisição de sinais. É capaz de medir a força tensora na junta, torque total, torque na rosca e na cabeça do parafuso, além do alongamento e do ângulo de aperto.

Figura 18 - Equipamento DTT



Fonte: Elaborado pelo autor

Foram fabricados 10 corpos de prova das juntas selecionadas (conforme mostrado nas Figuras 19 e 20) para realização dos ensaios em condição similar ao que é feito na linha de montagem.

Figura 19 - Corpos de prova pinça do freio



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20 - Corpos de prova semi-eixo



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos resultados dos ensaios, foram elaboradas estratégias de aperto por controle de torque-ângulo para cada uma das juntas estudadas.

Tais estratégias propostas tiveram o intuito de aumentar a força tensora nas juntas resultante dos apertos e, conseqüentemente, aproveitar ao máximo a capacidade dos elementos de fixação, tendo como referência 85% do valor de transição da região elástica para a plástica.

A parte prática do estudo das juntas consistiu na comparação dos resultados obtidos através dessas novas estratégias e do método por controle de torque alvo utilizado atualmente na linha de montagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são detalhados e discutidos os resultados obtidos a partir do que foi proposto no capítulo anterior.

4.1 REVISÃO DOS ITENS DE SEGURANÇA

Conforme descrito anteriormente, os itens de segurança foram revisados através da metodologia Kaizen e, ao final desta atividade, foram inclusos nos modelos internos (documentos) que acompanham os produtos em linha de montagem e ficam arquivados com o intuito de manter o histórico e a rastreabilidade das operações.

Em suma, além dos componentes já listados na PD 0021/9 – ITENS DE SEGURANÇA foram acrescentados:

- a) caminhões e chassis:
 - tirante da barra estabilizadora;
 - barra estabilizadora;
 - mangueira de freio;
 - tubo de freio;
 - reservatório de ar;
 - pinça de freio;
 - conjunto pneu e roda;
 - grampo de mola;
 - roda fônica ABS;
 - semi-eixo;
 - cinto de segurança;
 - buzina;
 - luzes iluminação e sinalização;



- b) utilitários
 - pinça do freio;
 - semi-eixo;
 - tubo de freio;
 - cinto de segurança;

- buzina;
- roda fônica ABS;
- grampo de mola;
- pneu e roda;
- luzes iluminação e sinalização.

Abaixo, podem-se ver dois modelos internos revisados em que foram inclusos os novos itens de segurança listados acima.

Na Figura 21, os tirantes e a barra estabilizadora foram adicionados nos campos referentes ao estágio MD02 da linha de montagem.



Figura 21 - Folha de monitoramento dos pontos críticos
- chassis midi (MA/Caminhão)

		FOLHA DE MONITORAMENTO DOS PONTOS CRÍTICOS – CHASSIS MÍDI (MA/ CAMINHÃO)			
CÓD. PRODUTO:		MODELO:		DATA:	
CÓD. ROTEIRO:		Nº CHASSI:			
OBS.:					
CONDIÇÕES DE PREENCHIMENTO:					
- Nº do crachá: se estiver conforme;					
- Em branco: se estiver não conforme;					
- N.A: não aplicável.					
- Para torques, preencher valor nominal (em kgf.m) conforme especificado no roteiro de montagem.					
Estágio MD01	Estágio MD01	Estágio MD01	Estágio MD01	Estágio MD02	
Gravação Nº VIN	Gravação Nº Segredo	Alinhamento do chassi na mesa	Torque nos parafusos do cj quadro chassi	Setor de direção – parafuso M20	
Conforme roteiro	Conforme roteiro	Conforme roteiro	Conforme roteiro	Torque:	
Crachá:	Crachá:	Crachá:	Crachá:	Crachá:	
Estágio MD02	Estágio MD02	Estágio MD02	Estágio MD02	Estágio MD02	
Setor de direção – parafuso M14 (Exceto Caminhão)	Mola dianteira LD/LE	Jumelo dianteiro LD/LE	Tirante da barra estabilizadora dianteira LD/LE	Buchas da barra estabilizadora dianteira LD/LE	
Torque:	Torque:	Torque:	Torque:	Torque:	
Crachá:	Crachá:	Crachá:	Crachá:	Crachá:	
Estágio MD02	Estágio MD02	Estágio MD02	Estágio MD02	Estágio MD02	
Amortecedor dianteiro LD/LE	Mola traseira LD/LE	Jumelo traseiro LD/LE	Tirante da barra estabilizadora traseira LD/LE	Buchas da barra estabilizadora traseira LD/LE	
Torque:	Torque:	Torque:	Torque:	Torque:	

Fonte: Agrale (2014)

Na Figura 22, foram acrescentados campos referentes ao cinto de segurança e suas fixações.

Figura 22 - Folha de Monitoramento dos Pontos Críticos – Cabines

		FOLHA DE MONITORAMENTO DOS PONTOS CRÍTICOS – CABINES				
CÓD. PRODUTO:			MODELO:		DATA:	
CÓD. ROTEIRO:			N° CHASSI:			
N° CABINE:						
OBS.:						
CONDIÇÕES DE PREENCHIMENTO:						
- N° do crachá: se estiver conforme;						
- Em branco: se estiver não conforme;						
- N.A: não aplicável.						
- Para torques, preencher valor nominal (em kgf.m) conforme especificado no roteiro de montagem.						
Estágio CB01		Estágio CB01		Estágio CB01		Estágio CB03
Ancoragem cinto de segurança		Fixação pedaleira na cabine		Coluna de direção escamoteável		Suporte do acelerador
Torque:		Torque:		Torque:		Torque:
Crachá:		Crachá:		Crachá:		Crachá:
Estágio CB04		Estágio CB04		Estágio CB06		Estágio CB07
Fechaduras externas LD/LE		Batente das portas LD/LE		Lacre cabos tacógrafo		Teste elétrico
Torque:		Torque:		Conforme Roteiro		Conforme Roteiro
Crachá:		Crachá:		Crachá:		Crachá:
Estágio CB07		Estágio CB07		Estágio CB07		Estágio CB09
Bancos (condutor/acompanhante)		Fecho e cinto de segurança		Fixação superior coluna de direção (ARGENTINA)		Parafusos de acoplamento cabine x chassi (mancal cabine x chassi)
Torque:		Torque:		Torque:		Torque:
						Mancal da cabine LD/LE
						Torque:

Fonte: Agrale (2014)

Os resultados obtidos, 13 novos componentes de segurança para caminhões e chassis e 9 para utilitários, mostram ainda que tais itens devem ser revisados periodicamente.

4.2 COMPARAÇÃO DO APERTO PELA CABEÇA DO PARAFUSO E PELA PORCA

A Tabela 4 mostra os resultados médios encontrados após a realização dos ensaios de aperto pela cabeça do parafuso e pela porca em juntas parafusadas do quadro do chassi. Foram utilizadas porcas e parafusos flangeados M12x1,5, organometálicos, com classe de resistência 10.9. A tabela completa dos ensaios encontra-se no Apêndice A.

Tabela 4 - Comparação de resultados

Valores médios para 50 apertos realizados		
	Torque dinâmico (Nm)	Torque residual (Nm)
Aperto pela porca com parafuso fixo.	91,5	104,64
Aperto pelo parafuso com porca fixa.	88,64	91,29

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme descrito anteriormente, tal procedimento foi realizado utilizando-se uma aparafusadeira pneumática de torque controlado modelo LTV, da marca Atlas Copco, calibrada para o torque de 100 Nm.

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que o torque dinâmico médio para o aperto pela porca com o parafuso fixo ficou 8,5% menor do que o torque alvo de 100 Nm. No caso do aperto pelo parafuso com a porca fixa, a média foi 11,36% menor.

Na comparação entre os torques dinâmicos médios obtidos em ambos os casos, o aperto pela porca com o parafuso fixo apresentou valor 3,12% maior do que o aperto pelo parafuso com a porca fixa.

Quanto ao torque residual, no aperto pela porca o valor médio encontrado foi 4,64% maior do que o torque para o qual a máquina estava calibrada. Para o aperto pelo parafuso, o valor médio ficou 8,71% menor do que os 100 Nm.

Na comparação entre os torques residuais médios obtidos em ambos os casos, o aperto pela porca apresentou valor 14,62% maior do que o aperto pelo parafuso.

Os resultados demonstram que os torques médios dinâmico e residual obtidos para o caso do aperto pela porca são maiores e mais próximos do torque alvo de 100 Nm, quando comparados aos resultados do aperto pelo parafuso.

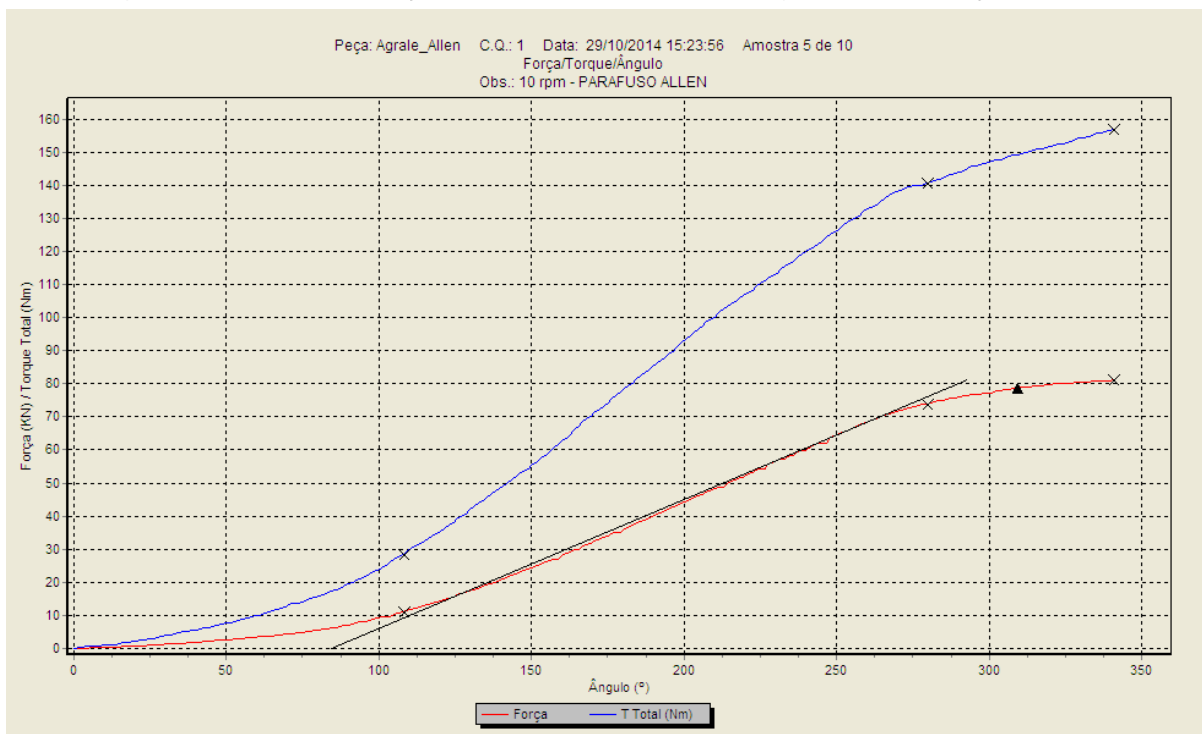
Este comportamento pode ser explicado por, no aperto pelo parafuso, parte do torque gerado pela aparafusadeira pneumática ser dissipado pelo atrito entre: filetes do parafuso e da porca; cabeça do parafuso e a face da peça intermediária; e filetes do parafuso com os furos internos das peças intermediárias, que são comprimidas enquanto o parafuso é tracionado.

No caso da fixação pela porca com o parafuso fixo, este último fator não afeta o aperto e, portanto, é isto que permite que se atinjam valores médios de torque maiores nesta condição.

4.3 AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE APARAFUSAMENTO

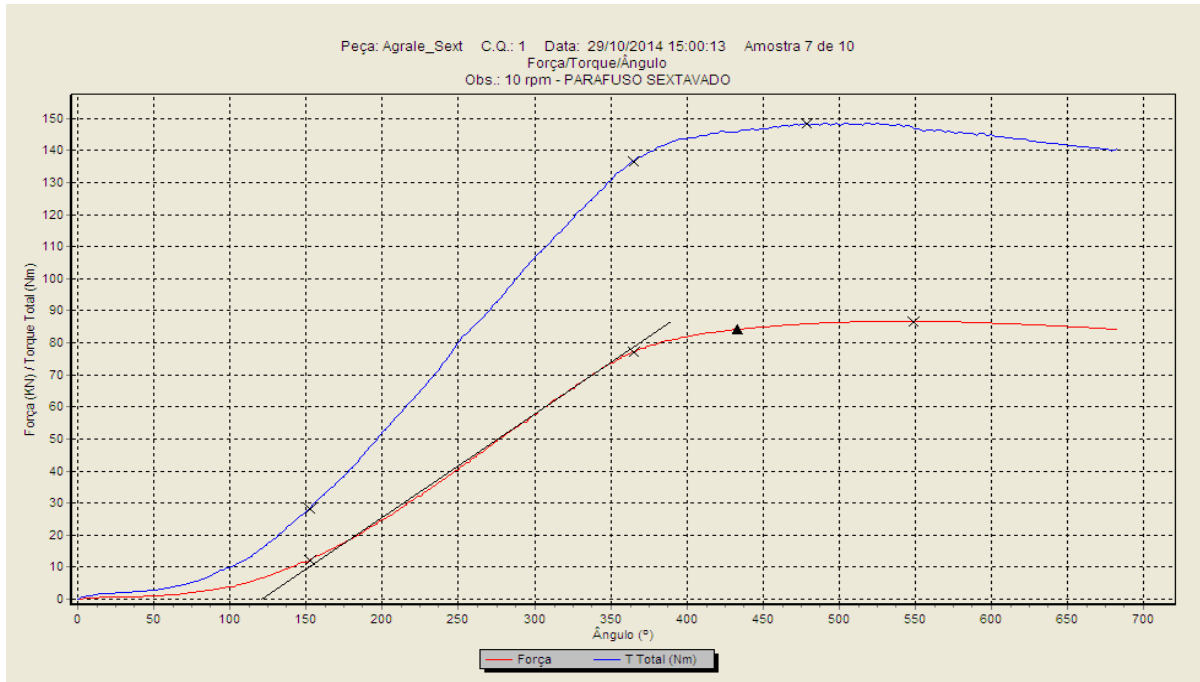
Conforme descrito no capítulo anterior, na etapa experimental os apertos foram realizados até próximo à condição de ruptura, e através destes foram obtidos dados e gráficos inerentes aos binários. As Figuras 23 e 24 apresentam os apertos da pinça do freio e do semi-eixo. Os gráficos dos demais ensaios da pinça do freio encontram-se nos Apêndices A à I e do semi-eixo nos Apêndices J à S. Através deles, estimou-se os gradientes de força tensora (variação da força por ângulo de avanço) para a pinça do freio e o semi-eixo, que foram 0,412 e 0,320 kN/grau, respectivamente.

Figura 23 - Gráfico força (kN) / torque (Nm) x ângulo (°) da pinça do freio



Fonte: Relatório Hassmann (2014)

Figura 24 - Gráfico força (kN) / torque (Nm) x ângulo (°) do semi-eixo



Fonte: Relatório Hassmann (2014)

Os valores de força limite e torque limite utilizados para a formação das novas estratégias de aperto estão compilados nas tabelas da Figura 25 para a pinça do freio e Figura 26 para o semi-eixo. Tais valores representam a força e o torque correspondente nas respectivas juntas, exatamente na região em que ocorre a transição da zona elástica para a plástica dos parafusos.

Figura 25 - Resultados compilados dos ensaios da pinça do freio

Metalurgica Hassmann	Relatório Análise		
	Peça: Agrale_Allen	C.Q.: 1	Cliente Agrale
	Data Teste: 29/10/2014 15:23:56		Amostras: 10 de 10
	Data Relatório: 29/10/2014		
	Observação: 10 rpm - PARAFUSO ALLEN		

Peça	Fy0 (KN)	T0	Força Limite (KN)	Força Máxima (KN)	Torque Limite (Nm)	Torque Máximo (Nm)
1			73,10	83,90	158,60	293,10
2			69,00	78,10	147,20	166,80
3			72,20	79,70	155,80	166,70
4			71,60	79,40	165,00	175,00
5			74,00	81,00	140,50	156,80
6			72,80	80,10	155,90	165,50
7			72,50	82,40	164,90	179,60
8			72,70	78,90	157,40	176,80
9			71,60	77,80	174,40	189,30
10			72,10	78,70	169,90	181,00
Média	0,00	0,00	72,16	80,00	158,96	185,06
Média+3S	0,00	0,00	76,12	85,81	189,47	302,35
Média-3S	0,00	0,00	68,20	74,19	128,45	67,77
Máximo	0,00	0,00	74,00	83,90	174,40	293,10
Mínimo	0,00	0,00	69,00	77,80	140,50	156,80
Range	0,00	0,00	5,00	6,10	33,90	136,30

Fonte: Relatório Hassmann (2014)

Figura 26 - Resultados compilados dos ensaios do semi-eixo

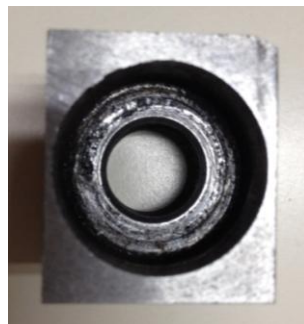
Peça	Fy0 (KN)	T0	Força Limite (KN)	Força Máxima (KN)	Torque Limite (Nm)	Torque Máximo (Nm)
1			76,50	79,70	141,30	144,50
2			76,00	85,10	138,20	151,30
3			77,60	86,30	139,70	153,30
4			79,80	88,80	143,20	157,50
5			78,20	86,90	139,80	154,20
6			74,60	86,30	145,40	160,90
7			77,10	86,80	136,50	148,40
8			75,80	84,70	140,30	152,40
9			77,50	86,70	148,30	158,10
10			77,60	86,50	145,40	155,00
Média	0,00	0,00	77,07	85,78	141,81	153,56
Média+3S	0,00	0,00	81,39	92,99	152,86	167,97
Média-3S	0,00	0,00	72,75	78,57	130,76	139,15
Máximo	0,00	0,00	79,80	88,80	148,30	160,90
Mínimo	0,00	0,00	74,60	79,70	136,50	144,50
Range	0,00	0,00	5,20	9,10	11,80	16,40

Fonte: Relatório Hassmann (2014)

A Tabela 5 mostra as especificações de aperto atual e a estratégia proposta. Para tanto, tomou-se a força equivalente ao torque atual e acresceu-se um ângulo capaz de elevar a força tensora à referência de 85% do valor de transição. Os ângulos foram de 20 e 30 graus para a pinça do freio e o munhão, respectivamente.

No caso da pinça do freio, considerou-se ainda como limitante o torque máximo de 120 Nm. Isto deveu-se ao fato de que no primeiro aperto realizado em laboratório, percebeu-se que a cabeça do parafuso deformou plasticamente a face do munhão do eixo, com torque de aproximadamente 120 Nm, conforme mostrado na figura abaixo.

Figura 27 - Corpo de prova do munhão com a face danificada



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 - Estratégias de aperto

Junta Parafusada	Especificação do aperto atual (com aparafusadeira pneumática de torque controlado)	Estratégia proposta (aparafusadeira e torquímetro digital com controle de ângulo)
Pinça do freio (PF M12x1,75x30 10.9)	70 Nm	70Nm + 20°
Semi-eixo (PF M12x1,5x30 10.9)	100Nm	100Nm + 30°

Fonte: Elaborado pelo autor

Os ângulos de 20 e 30 graus utilizados nas estratégias propostas de aperto foram definidos com base nos gráficos gerados pelo equipamento DTT e considerando que a aplicação prática seria feita manualmente com torquímetro, ou seja, quanto menores os ângulos de avanço menor o esforço do operador.

A etapa prática foi realizada em linha de montagem e consistiu na coleta de dados referentes ao aperto de 20 juntas parafusadas da pinça do freio e 24 do semi-eixo, em ambas as especificações de aperto, totalizando assim 40 apertos na pinça do freio e 48 no semi-eixo.

A obtenção do torque médio encontrado e da força correspondente foi realizada através da interpolação gráfica a partir dos resultados gerados no DTT.

Os resultados estão compilados na Tabela 6 para a pinça do freio e na Tabela 7 para o semi-eixo. As tabelas completas dos ensaios encontram-se no Apêndice T para a pinça do freio e Apêndice U para o semi-eixo.

Tabela 6 - Resultados dos apertos pinça do freio

Estratégia de aperto	Torque médio encontrado (Nm)	Força aproximada correspondente (kN)	Percentual em relação à força limite média (72,16 kN) (%)
Atual (70 Nm)	72,9	30	41,6
Proposta (70 Nm + 20°)	108,8	46,5	64,4

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 7 - Resultados dos apertos semi-eixo

Estratégia de aperto	Torque médio encontrado (Nm)	Força aproximada correspondente (kN)	Percentual em relação à força limite média (77,07 kN) (%)
Atual (100 Nm)	105,7	54	70
Proposta (100 Nm + 30°)	141,9	76	98,6

Fonte: Elaborado pelo autor

Todos os valores registrados para o aperto atual pela metodologia de torque alvo ficaram dentro da imprecisão admissível de mais ou menos 10% para a aparafusadeira pneumática utilizada nos ensaios.

A primeira vista, em relação à meta de 85% do limite elástico, observa-se que a estratégia de aperto proposta é mais conservadora para a pinça do freio que para o semi-eixo. Entretanto, o aperto desta junta está limitado pela contra-peça e não pelo parafuso. Para melhorar a condição de aperto desta junta, pode-se alterar o projeto acrescentando flange na cabeça do parafuso ou arruela lisa, aumentando a área superficial de contato; ou diminuir a bitola do parafuso.

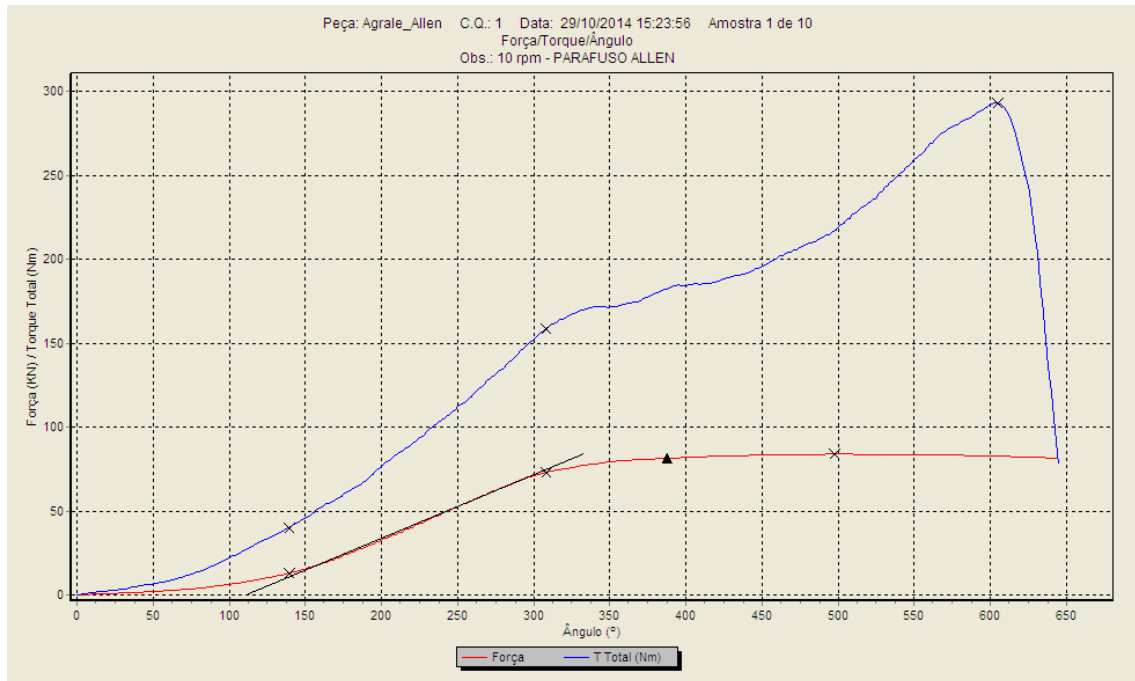
A análise isolada dos resultados relativos à pinça do freio mostra que a estratégia proposta permite uma elevação de cerca de 23% no que diz respeito ao aproveitamento da capacidade do parafuso na sua região elástica.

Com relação ao aperto do semi-eixo, nota-se que a estratégia atual proporciona um aproveitamento de 70% da capacidade dos elementos de fixação considerando apenas a região elástica. A estratégia proposta permitiu elevar em quase 28% a força tensora obtida na junta, porém os valores ficaram próximos do escoamento. Sendo assim, para esta junta a estratégia deve ser revista.

Além das constatações anteriores, os ensaios no DTT revelaram que o sextavado interno (allen) do parafuso da pinça do freio é mais suscetível à deformação plástica do que o sextavado externo do parafuso do semi-eixo.

A Figura 27 mostra o ensaio do parafuso da pinça do freio em que houve escoamento do seu sextavado interno. O fato pode ser verificado pela interrupção da trajetória linear crescente da curva, que curva-se para a direita em cerca de 160 Nm e logo retoma a tendência crescente até o final do ensaio. Em função desta constatação, os ensaios posteriores foram interrompidos com torque em cerca de 180 Nm.

Figura 28 - Gráfico do ensaio com escoamento do parafuso allen



Fonte: Relatório Hassmann (2014)

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final da elaboração deste trabalho, constatou-se que os seus objetivos foram alcançados. Juntamente com a análise geral dos resultados, descreve-se abaixo as conclusões a que se chegou.

Os itens de segurança devem ser revistos periodicamente, com vistas à atualização de produtos e inclusão de novos componentes e sistemas. É importante que todas as áreas da empresa tenham ciência de quais são esses itens e do grau de responsabilidade que os cercam.

O aperto pela porca permite a obtenção de torque residual maior do que o aperto pelo parafuso. Com isso, faz-se necessário alterar o procedimento adotado atualmente pela empresa que recomenda o aperto pelo parafuso com a porca fixa.

Em relação ao aperto por torque-ângulo, verificou-se que possibilita um controle mais adequado dos parâmetros do processo que o torque alvo, e deve ser estudado para novos produtos. Para que se obtenham melhores resultados através deste método, a empresa deve investir em máquinas eletrônicas. Tais equipamentos possuem tecnologia que inibe a interferência do operador no processo (diferentemente do torquímetro digital utilizado nos ensaios deste trabalho) e não são influenciados pela pressão da rede de ar, por exemplo.

A análise da junta real via DTT permite observar o seu comportamento e definir a melhor estratégia de aperto. Para as juntas críticas, portanto, recomenda-se que este procedimento seja realizado ainda na fase de projeto dos novos produtos.

Por fim, conclui-se que para torques elevados, parafusos com sextavado externo são mais adequados do que com sextavado interno.

Para a continuidade dos assuntos abordados no presente estágio, sugere-se os seguintes temas: avaliação do desempenho de juntas parafusadas de itens de segurança com parafusos de diferentes tratamentos superficiais; estudo da influência da utilização de travas químicas anaeróbicas líquidas e travas micro-encapsuladas em parafusos de itens críticos; e, análise da viabilidade econômica da substituição das ferramentas de aperto atualmente utilizadas por máquinas eletrônicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRETTA, Diego Fernando.et al. **Definição de um Critério de Desenvolvimento de Juntas Aparafusadas Baseado na Equação de Richards**. 8º Colloquium Internacional SAE BRASIL de Suspensões e Implementos Rodoviários e Mostra de Engenharia - Rio Grande do Sul, 07 a 09 de Maio de 2014.

BEER, Ferdinand Pierre; JOHNSTON JR., Elwood Russell. **Resistência dos materiais**. 3.ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

Comportamento de Juntas Rigidamente Fixadas por Parafusos – Cálculo e Dimensionamento. **Manual METALAC SPS Indústria e Comércio Ltda**. São Paulo, 2005.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. **Classificação dos Veículos para o Transporte de Passageiros, Tipo Micro-Ônibus**, Categoria M2. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/416_anexo.pdf> Acesso em: 02 maio 2014.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito.**RESOLUÇÃO Nº 84, DE 19 DE NOVEMBRO DE 1998**. Disponível em <http://www.vias-seguras.com/documentacao/arquivos/inspecao_tecnica_veicular_resolucao_contran_84_98> Acesso em 04 abril 2014.

GARCIA, Roberto. A que se propõem os Elementos de Fixação? **Revista do Parafuso**. São Bernardo do Campo, n. 41, ago/set2013. Disponível em <<http://www.revistado-parafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=653>> Acesso em: 29 março 2014.

HIBBELER, R. C. **Estática: Mecânica para Engenharia**. 10 ed, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

LIMA, Rodrigo Jeber de; ABRÃO, Alexandre Mendes; PERTENCE, Antônio Eustáquio de Melo. **Desenvolvimento de um sistema de torqueamento mecanizado contínuo de uniões aparafusadas**. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – Caxias do Sul, 11 a 15 de abril de 2011. Disponível em: <<http://alvarestech.com/temp/cobef2011/grima.ufsc.br/cobef2011/media/trabalhos/COF11-0048.pdf>> Acesso em: 17 maio 2014.

MARCOS, Álvaro Olmedo. **Estudio numérico de unionesatornilladas enestructuras aeronáuticas**. [Departamento de mecánica de medioscontinuos y teoría de estructuras]. Universidad Carlos III de Madrid - Escuela Politécnica Superior: Madri, 2010. Disponível em <http://orff.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10847/PFC_Alvaro_Olmedo_Marcos.pdf?sequence=1> Acesso em 17 maio 2014.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. Direito do Consumidor – Saúde e Segurança. **O que é recall?** Disponível em <http://portal.mj.gov.br/main.asp?View={F84114A3-05C7-41AC-BA85-936DBE737A1F}&BrowserType=NN&LangID=pt-br¶ms=itemID%3D%7B07CC8CDB-9312-41E7-A097-28028802305%7D%3B&UIPartUID=%7B2868BA3C-1C72-4347-BE11-A26F70F4CB26%7D> Acesso em 25 abril 2014.

NORTON, Robert Lawrence. **Projeto de máquinas:** uma abordagem integrada. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A - ENSAIOS DE APERTO PELA PORCA E PARAFUSO

(continua)

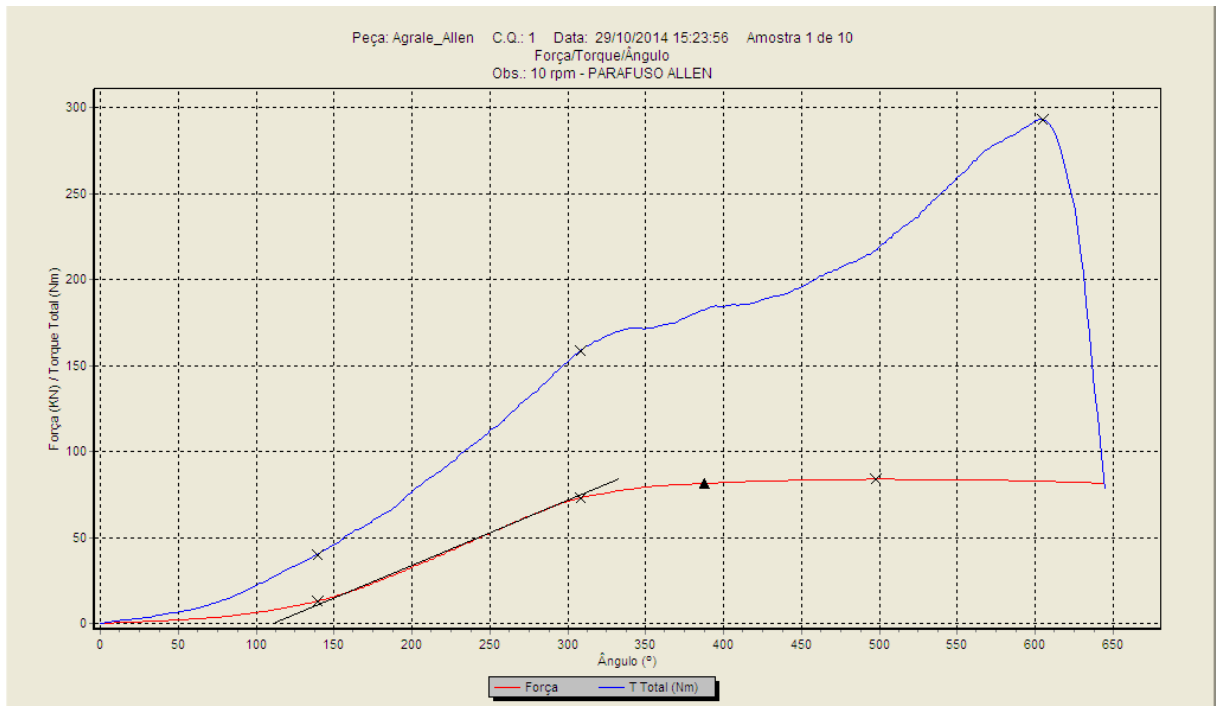
Aperto	Apertos pela porca		Apertos pelo parafuso	
	Torque dinâmico (Nm)	Torque residual (Nm)	Torque dinâmico (Nm)	Torque residual (Nm)
1	109	125,5	87	84,4
2	107	139,7	87	87,6
3	102	140,4	85	87,6
4	94	110,2	92	89,9
5	83	100,3	90	94,1
6	92	91,8	90	94,7
7	89	90,3	89	98,9
8	97	100	89	98,9
9	96	112,5	90	95,2
10	85	99,8	91	97,4
11	94	95,9	88	91,2
12	90	114,1	90	92,2
13	89	111,1	87	82,6
14	93	99,2	94	96,3
15	90	101	85	83,7
16	89	88,5	92	96
17	92	126,3	88	89,9
18	98	105	90	87,5
19	87	74,8	87	84,2
20	89	101,8	88	97,1
21	90	105,4	91	98,6
22	92	115,6	88	99,7
23	88	96,3	91	86,6
24	92	100,4	92	100,3
25	90	92,9	87	83,1
26	87	68,5	82	80,2
27	86	103,8	88	77
28	89	99,1	92	83,8
29	94	125,7	86	78,7
30	87	105,7	92	107
31	87	88,6	92	107
32	94	90,2	91	99,2

(conclusão)

33	89	101,7	87	93,9
34	89	102,9	88	86,1
35	90	98,6	87	91,9
36	90	102,5	91	95,2
37	97	119,7	88	89,6
38	91	121,5	86	86,4
39	90	98,7	83	82
40	88	97,5	87	92,4
41	88	97,1	90	93,1
42	92	130,9	83	83,5
43	95	104,4	88	85,2
44	92	105	87	93,7
45	92	102	89	87,1
46	88	97,3	93	105,4
47	87	88,9	87	94,7
48	90	106,1	91	96,4
49	93	102,7	86	87,1
50	93	134	90	90,1
Média	91,5	104,64	88,64	91,29

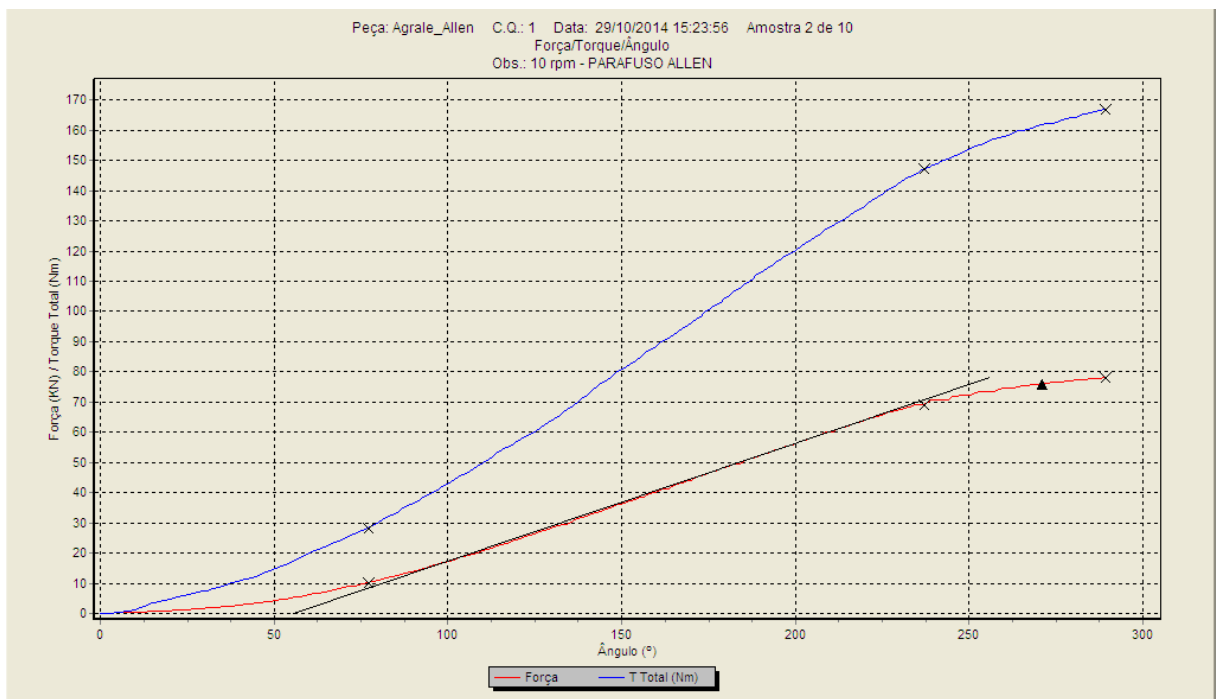
Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B - ENSAIO DTT AMOSTRA 1 - PINÇA DO FREIO



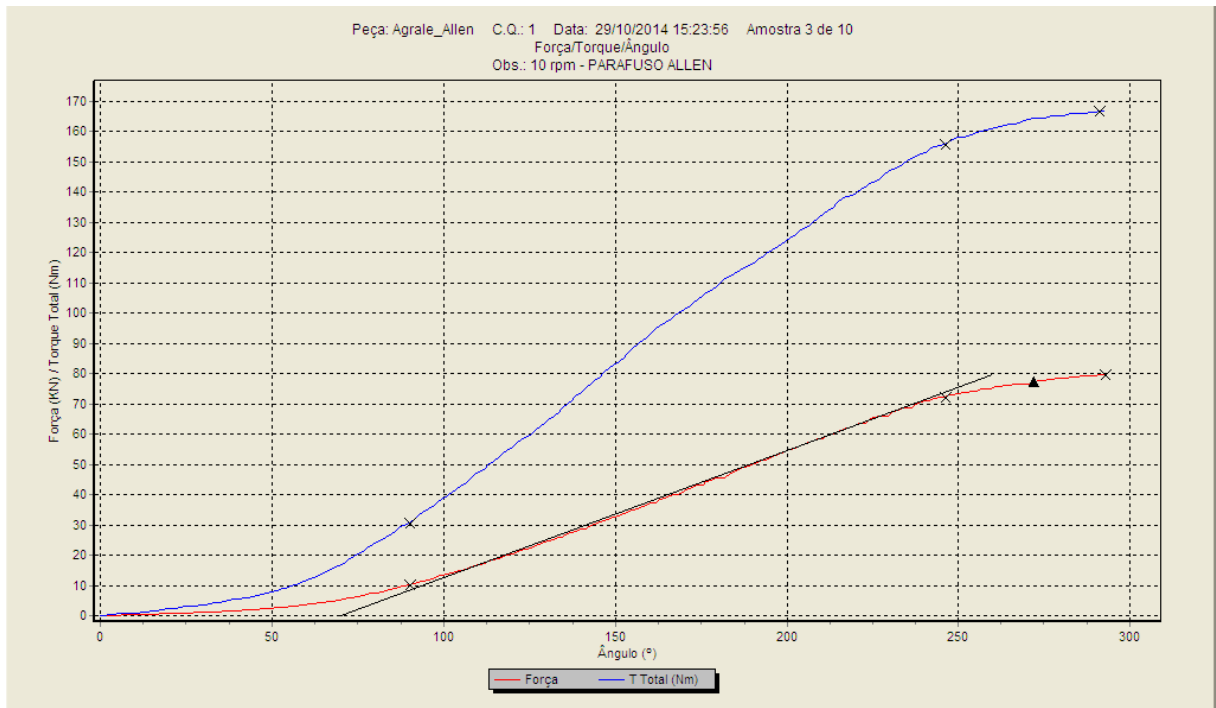
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE C - ENSAIO DTT AMOSTRA 2 - PINÇA DO FREIO



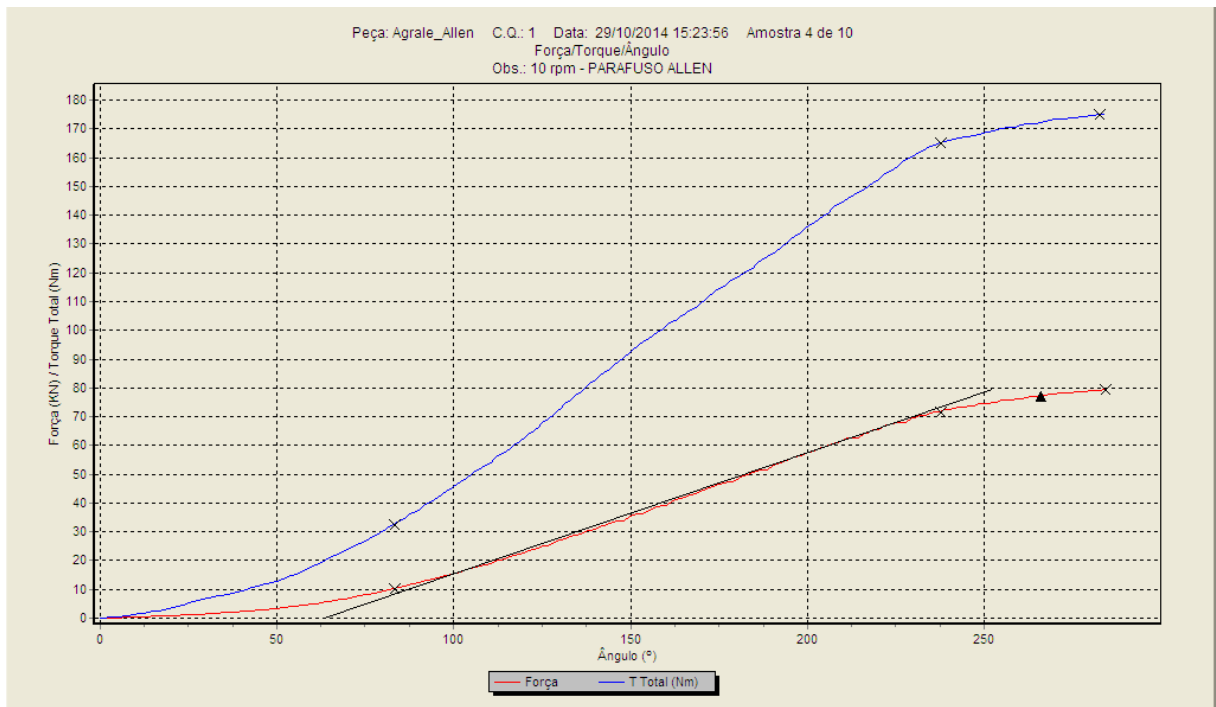
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE D - ENSAIO DTT AMOSTRA 3 - PINÇA DO FREIO



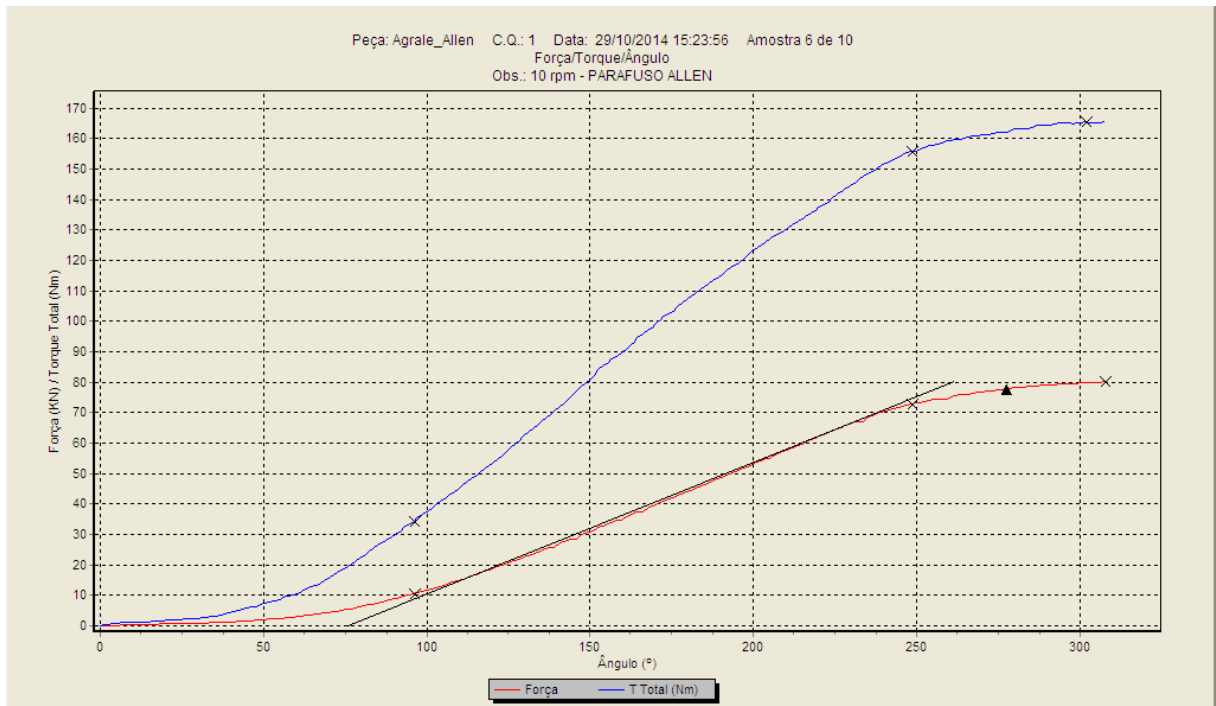
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE E - ENSAIO DTT AMOSTRA 4 - PINÇA DO FREIO



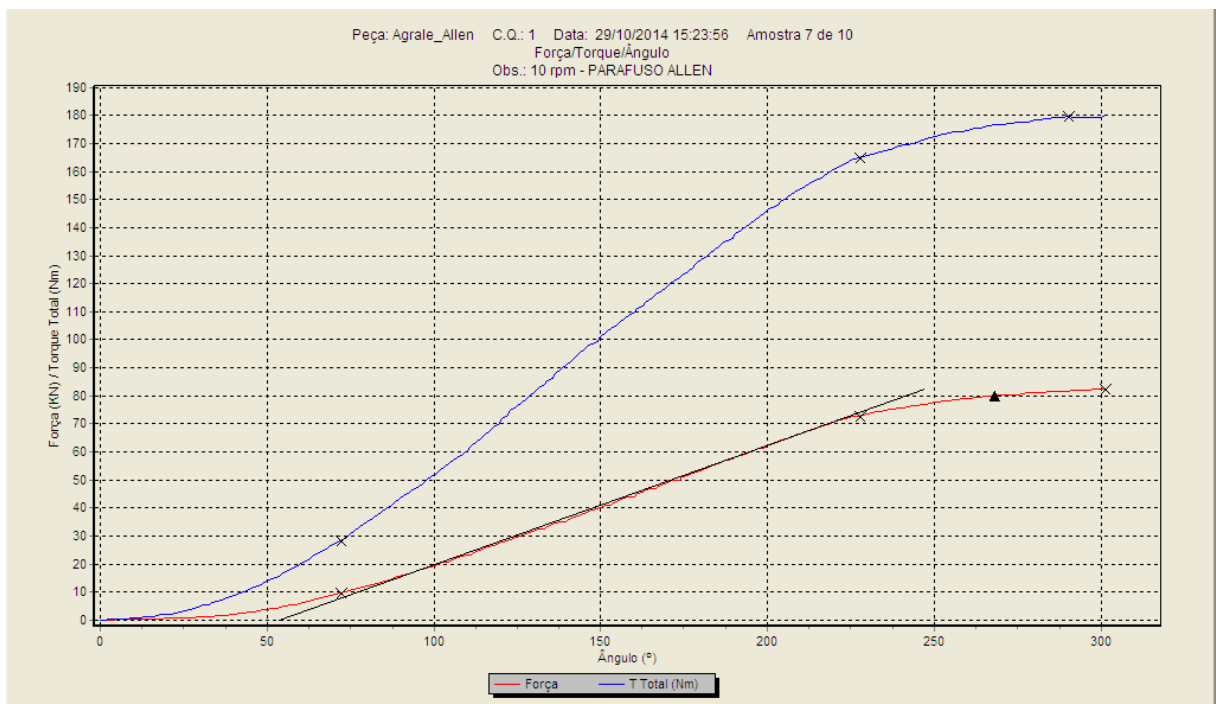
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE F - ENSAIO DTT AMOSTRA 6 - PINÇA DO FREIO



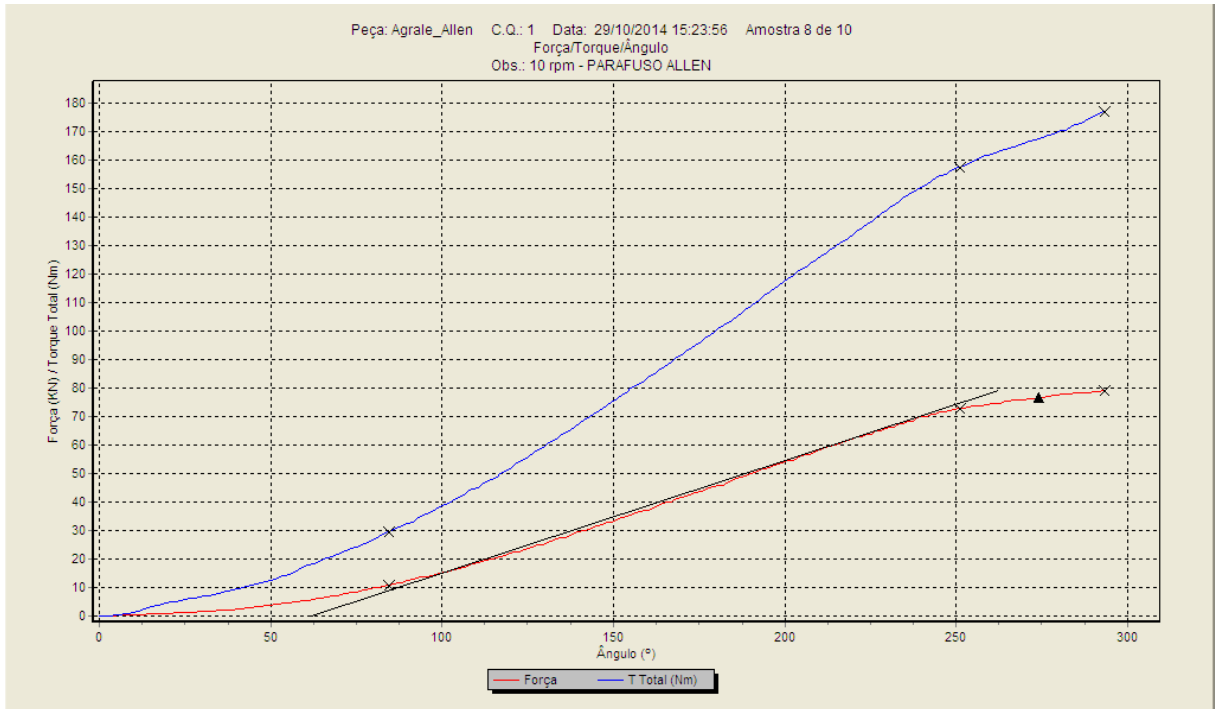
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE G - ENSAIO DTT AMOSTRA 7 - PINÇA DO FREIO



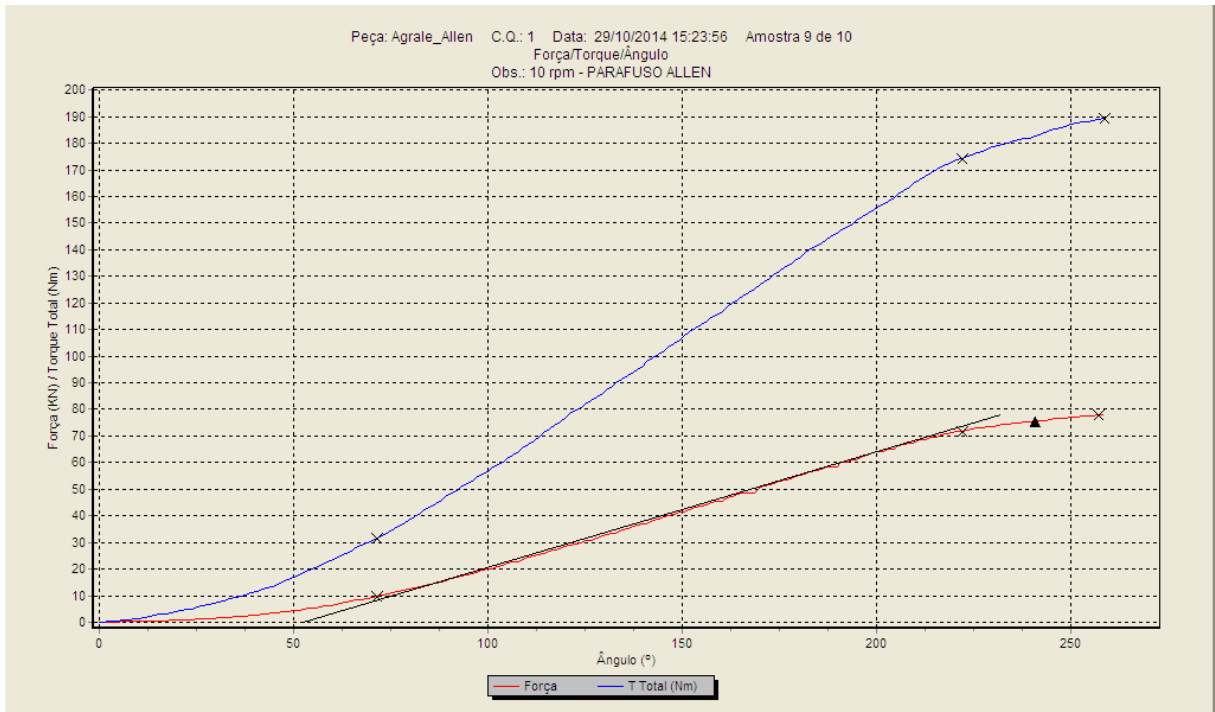
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE H - ENSAIO DTT AMOSTRA 8 - PINÇA DO FREIO



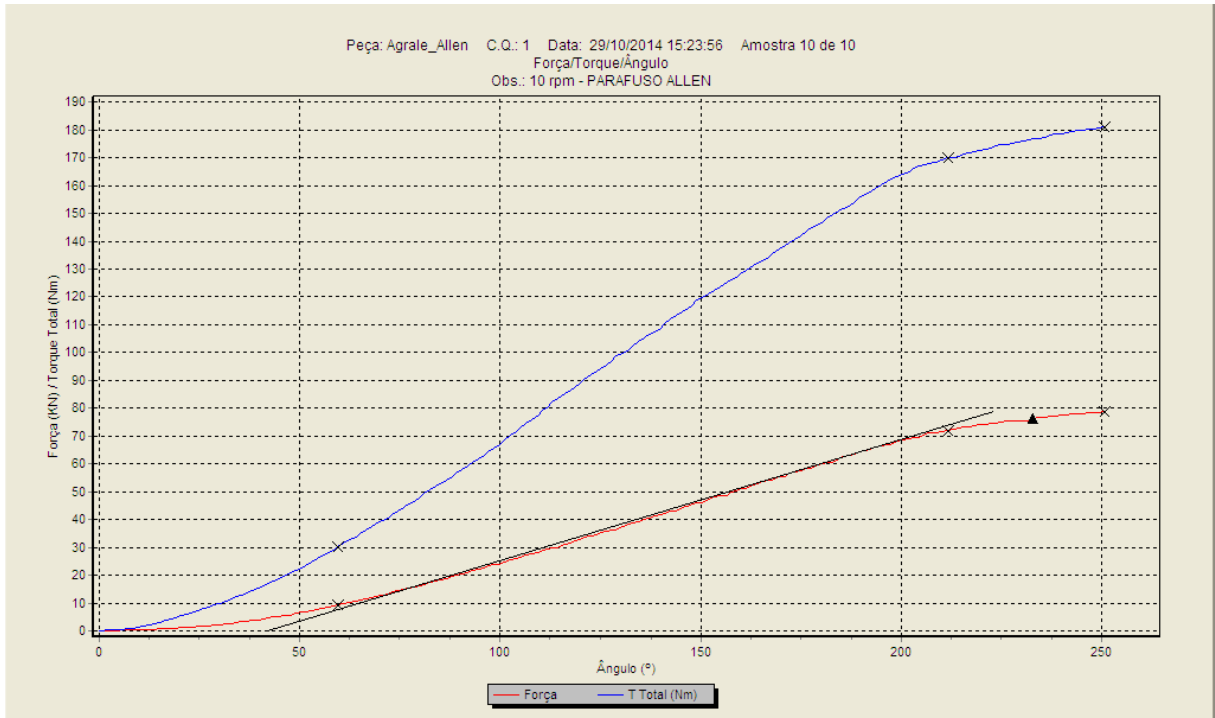
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE I - ENSAIO DTT AMOSTRA 9 - PINÇA DO FREIO



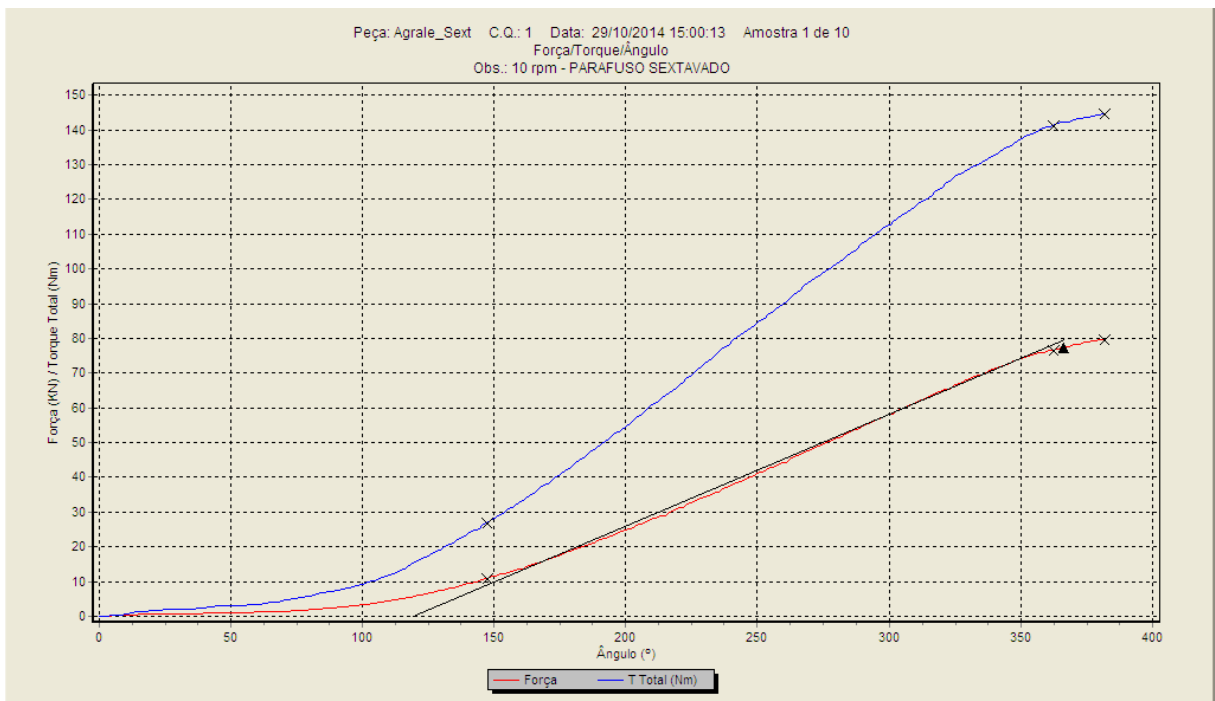
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE J - ENSAIO DTT AMOSTRA 10 - PINÇA DO FREIO



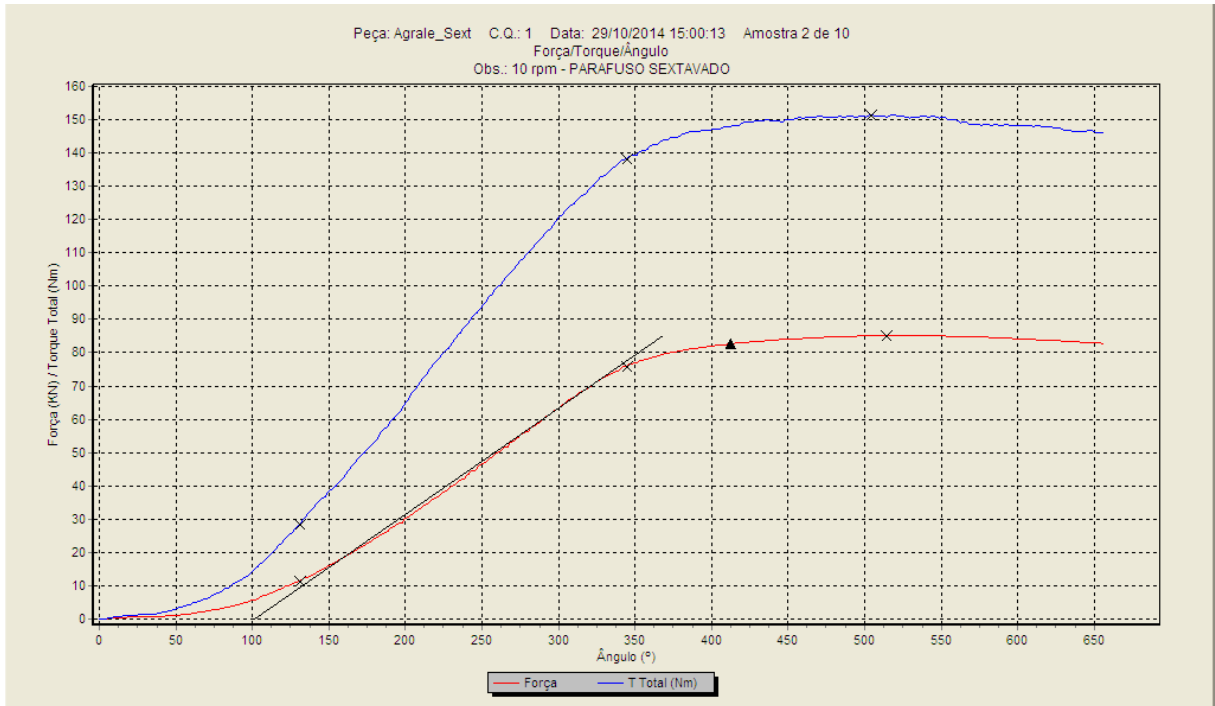
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE K - ENSAIO DTT AMOSTRA 1 - SEMI-EIXO



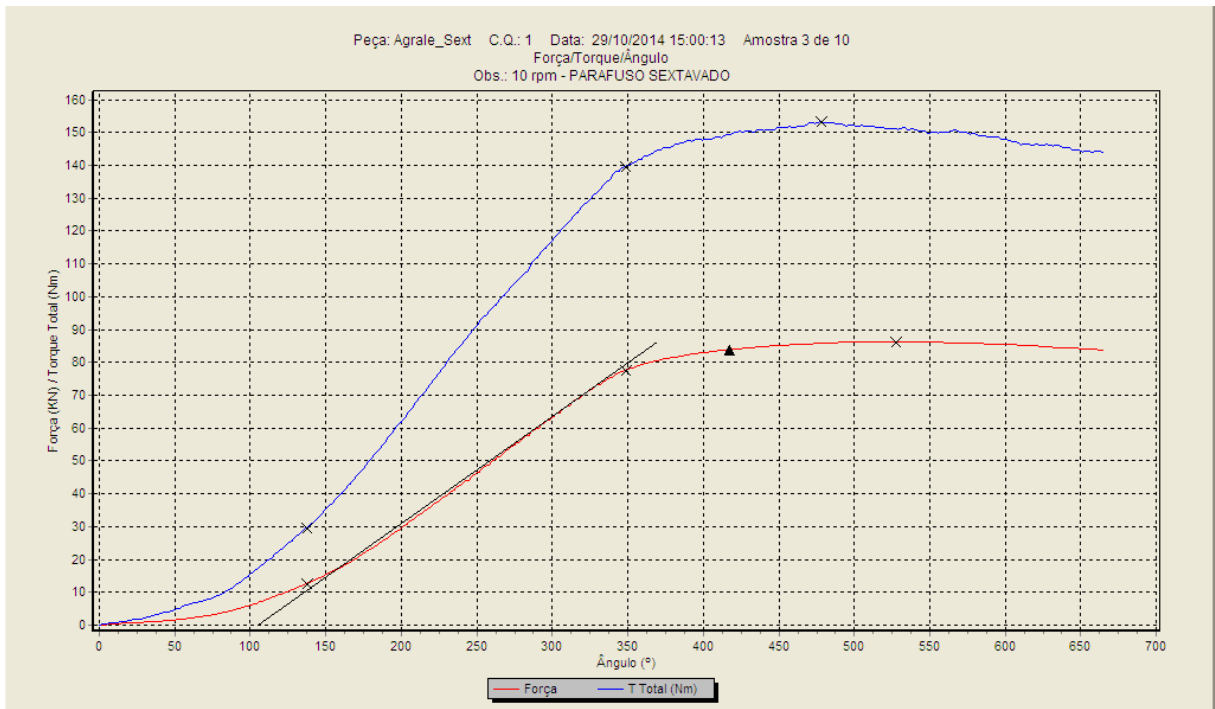
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE L - ENSAIO DTT AMOSTRA 2 - SEMI-EIXO



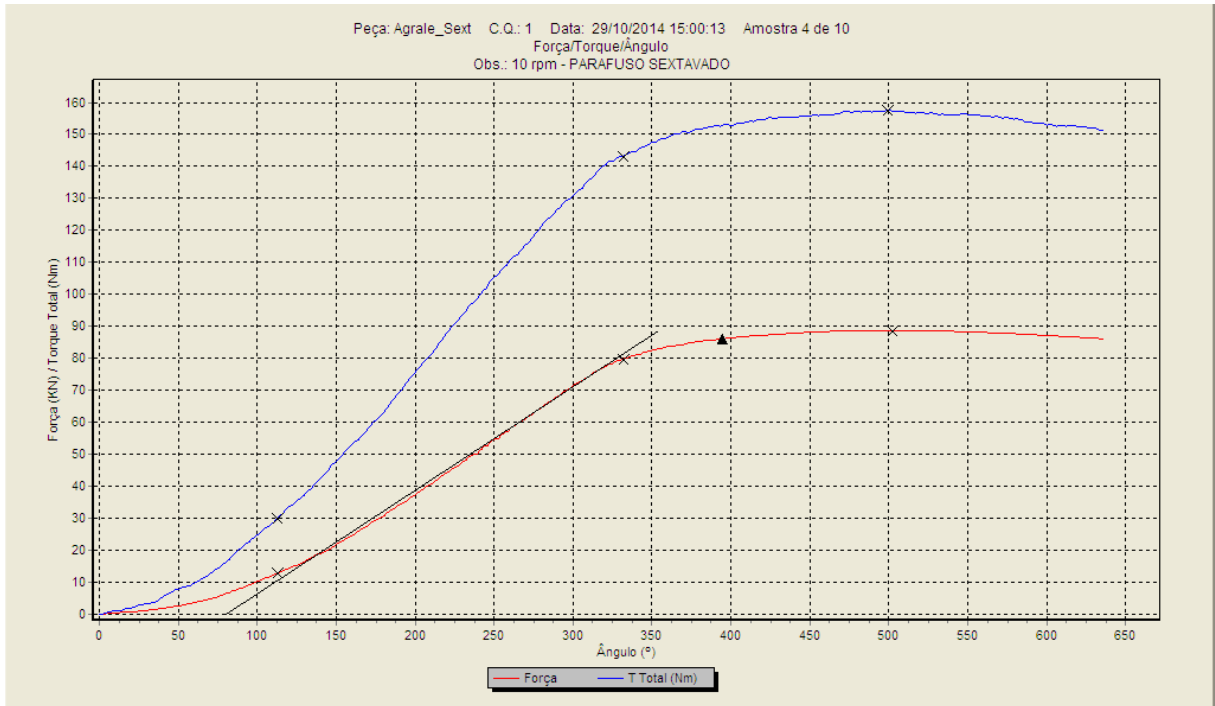
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE M - ENSAIO DTT AMOSTRA 3 - SEMI-EIXO



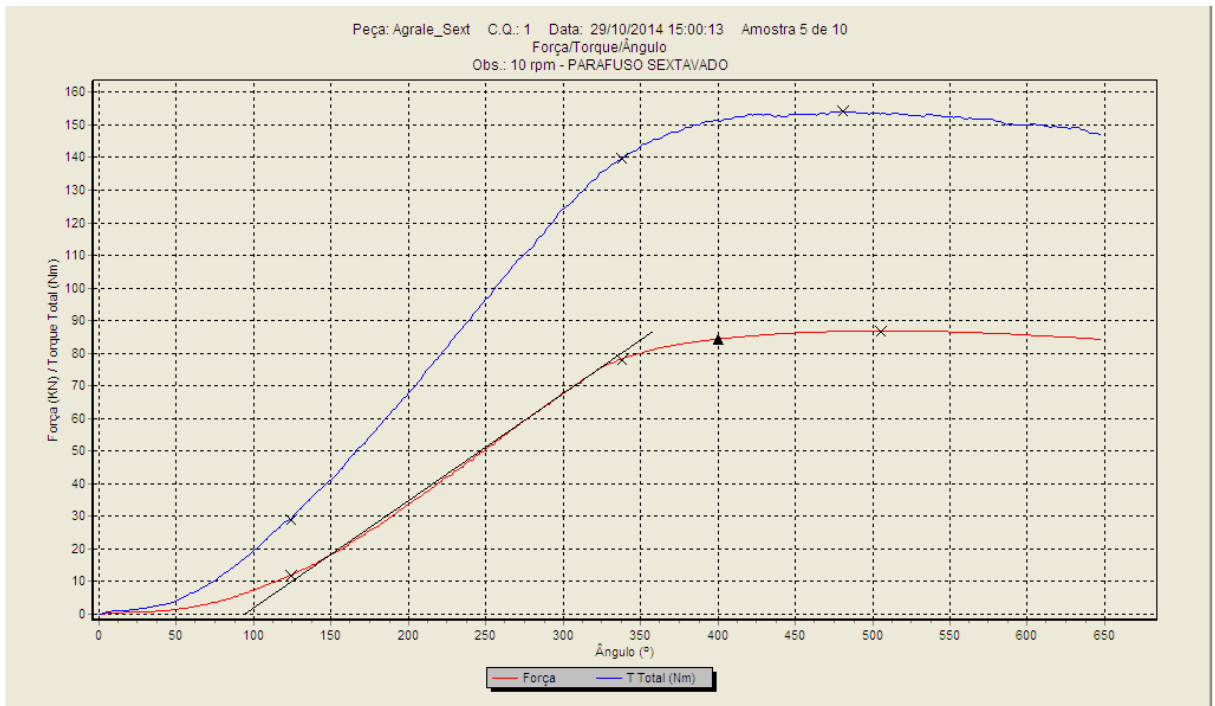
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE N - ENSAIO DTT AMOSTRA 4 - SEMI-EIXO



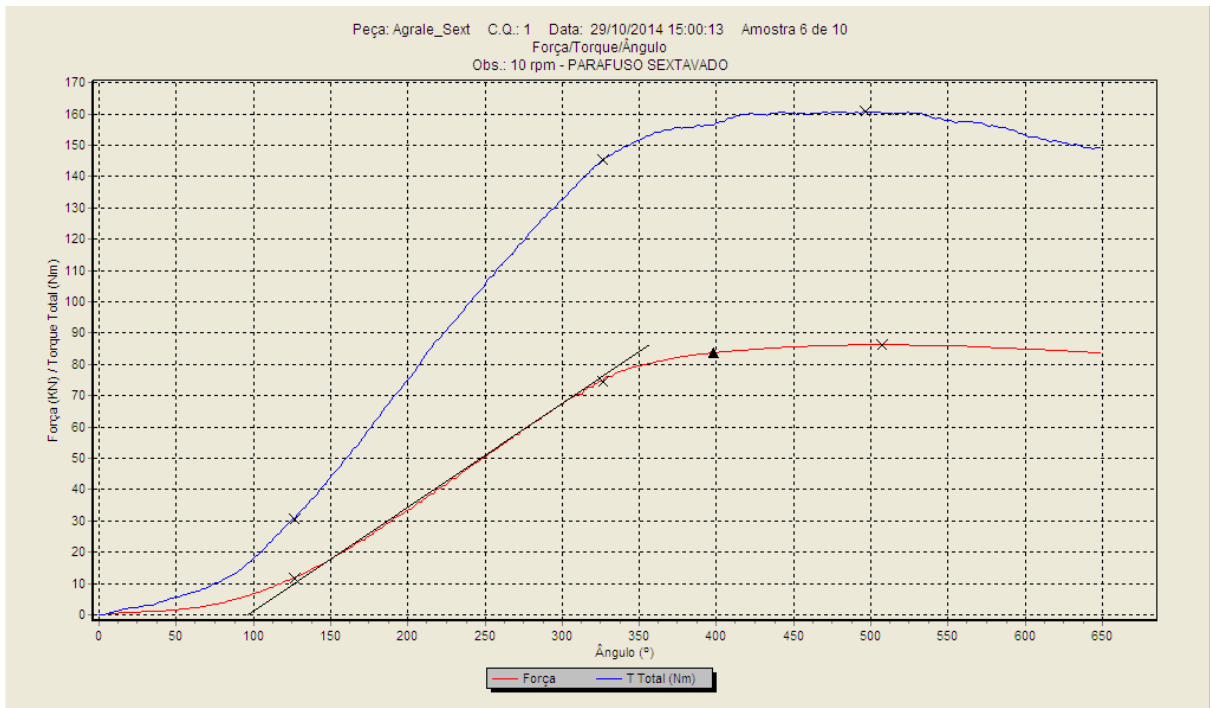
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE O - ENSAIO DTT AMOSTRA 5 - SEMI-EIXO



Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE P - ENSAIO DTT AMOSTRA 6- SEMI-EIXO



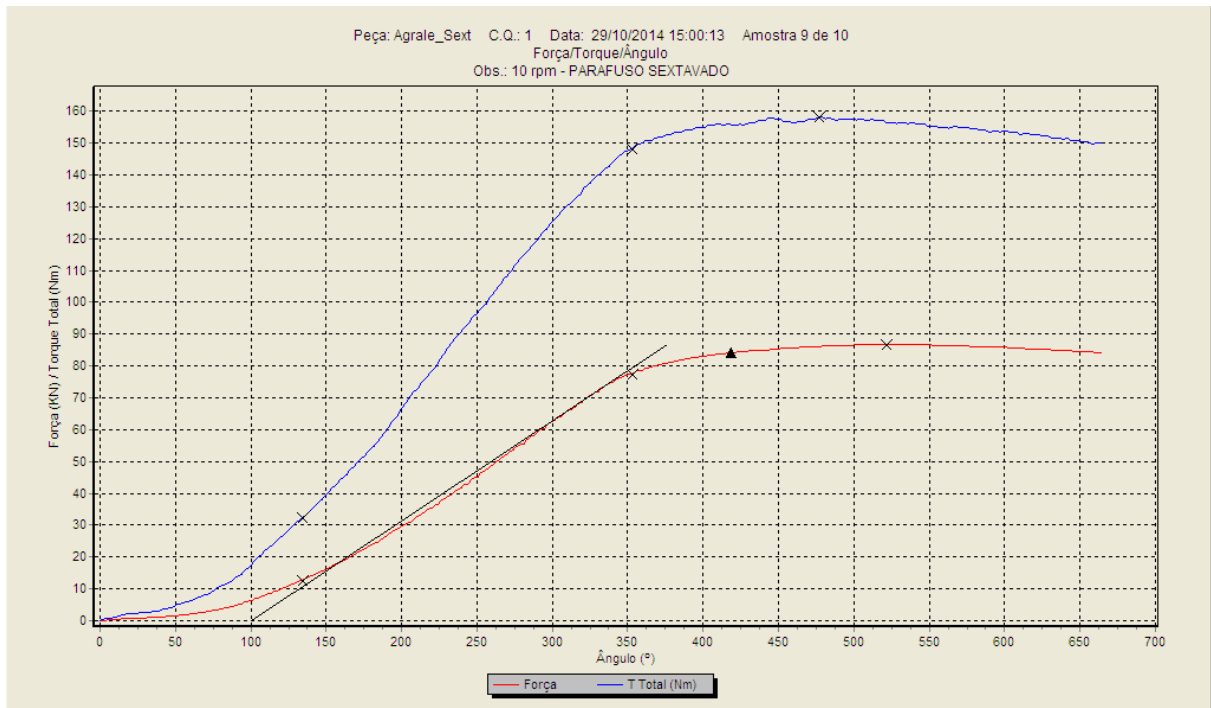
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE Q - ENSAIO DTT AMOSTRA 8 - SEMI-EIXO



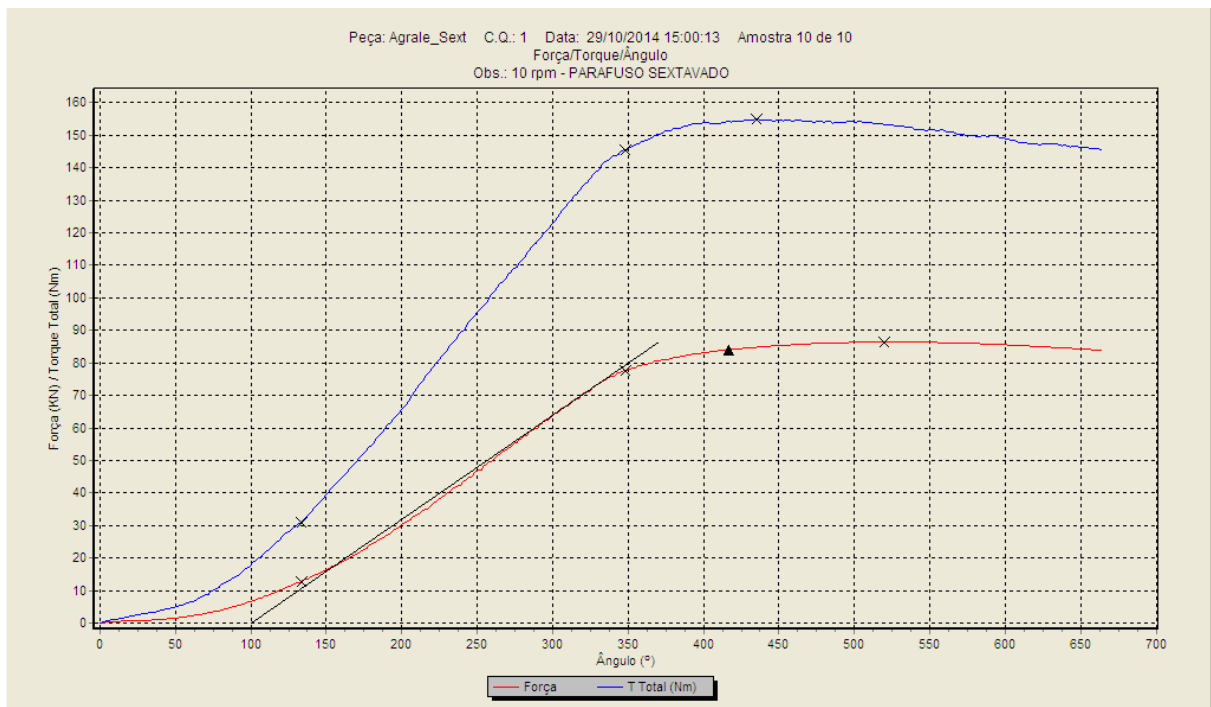
Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE R - ENSAIO DTT AMOSTRA 9 - SEMI-EIXO



Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE S - ENSAIO DTT AMOSTRA 10 - SEMI-EIXO



Fonte: Relatório Hassmann (2014)

APÊNDICE T - ESTRATÉGIAS DE APERTO PINÇA DO FREIO

Pinça do freio		
Aperto	70 Nm	70 Nm + 20°
1	71	111
2	72	100
3	72	102
4	72	105
5	74	103
6	72	108
7	76	107
8	68	118
9	72	113
10	75	115
11	75	107
12	75	109
13	73	107
14	72	115
15	73	110
16	74	108
17	73	113
18	72	109
19	73	107
20	73	108
Média	72,9	108,8

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE U - ESTRATÉGIAS DE APERTO SEMI-EIXO

Semi-eixo		
Aperto	100 Nm	100 Nm + 30°
1	107	145
2	104	145
3	104	136
4	105	135
5	104	137
6	107	136
7	105	133
8	105	136
9	103	134
10	105	149
11	104	141
12	106	144
13	108	143
14	107	149
15	107	144
16	105	149
17	107	140
18	106	144
19	107	140
20	107	142
21	108	135
22	105	147
23	106	149
24	105	153
Média	105,7	141,9

Fonte: Elaborado pelo autor

ANEXOS

ANEXO A – CIRCULAR DPAT 027/2013

CIRC/DPAT: 027/2013

Caxias do Sul, 16 de Maio de 2013.

**Ref.: SUBSTITUIÇÃO DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DO BRAÇO DE DIREÇÃO
VOLARE V8L 4X4 EURO III 115cv.**

Prezados senhores,

Esta circular tem por finalidade informar e orientar a rede de Concessionárias Agrale e os Postos de Serviço Volare quanto à substituição do parafuso de fixação do braço de direção dos veículos Volare V8L 4x4 Euro III.

Solicitamos que todos os veículos Volare V8L 4x4 Euro III relacionados no anexo 1, e atendidos na chamada técnica da Circular técnica 04/2013, sejam verificados nesta Ação de serviço conforme procedimento a seguir.

As peças necessárias para este melhoramento técnico serão enviadas pelo Departamento de Assistência Técnica (DPAT).

Contamos com o empenho de todos.

Para maiores informações, favor entrar em contato com Dpto. de Assistência Técnica.

**Dpto. Assistência Técnica
Agrale S.A.**

ANEXO B – CIRCULAR DPAT 060/2013**INFORMATIVA TÉCNICA****CIRCULAR DPAT: 060/2013**

Caxias do Sul, 03 de dezembro de 2013

Conjuntos Mancais da Cabine*Prezada Rede,*

Esta circular técnica tem por finalidade informar e orientar a rede de concessionários Agrale referente a possibilidade de quebra dos parafusos M10 que fixam os conjuntos mancais da cabine e consequente a sua deformação.

Informamos a seguir os “**Procedimentos técnicos**” orientativos, que deverão ser realizados ao efetuar as revisões preventivas nos **caminhões Agrale 6500, 8700, 10000 e 14000 – Euro V.**

ANEXO C – LAUDO TÉCNICO



Relatório de Ensaio Substitutivo

LAMET – FG 203 rev 00

Laboratório de Metalografia

Telefones/fax: (54) 3218 2188

LAUDO TÉCNICO

Nº: 0371CDSC-1/13

Cliente: Agrale S/A

Endereço: BR 116 km 145 nº 15104 - São Ciró

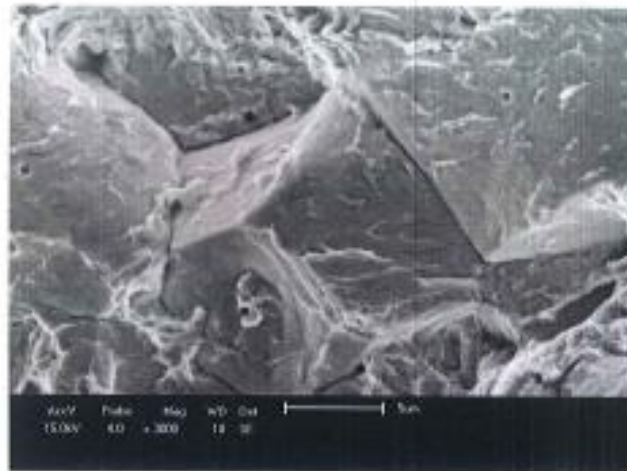
Cidade: Caxias do Sul - RS

Natureza do Trabalho:

ANÁLISE METALOGRÁFICA

Data: 19/06/13

Fl.: 07 de 07

**Conclusão:**

Pela análise macrográfica, verifica-se que a fratura do parafuso apresentou comportamento frágil, isto é, não houve estrição na região da fratura.

O teste do hidrogênio, mostra a grande quantidade de bolhas de hidrogênio, o que evidencia a fragilidade do parafuso causado por esse elemento.

A microestrutura do núcleo e dos filetes de rosca são típicos de um material temperado e revenido, isto é, martensita revenida e ferrita.

Este relatório de ensaio substitui o relatório 0371/13.

Gilmar Tonietto - Ms. Engº Mecânico
CREA RS 058068 - Signatário Autorizado

ANEXO D – PD 0021/9

ITENS DE SEGURANÇA EXIGÊNCIAS DAS ESPECIFICAÇÕES <i>Padronização</i>	PD 0021/9 NOVEMBRO/2012
--	--

ORIGEM: Departamento Engenharia
TOTAL DE PÁGINAS: 5
PALAVRA CHAVE: Itens de Segurança

SUMÁRIO

1. OBJETIVO
2. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES
3. DEFINIÇÕES
4. CONDIÇÕES GERAIS
5. CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

1. OBJETIVO

Esta norma padroniza a indicação das exigências das especificações em desenho, do item de segurança.

ANEXO E - PR 0012/0 – TORQUES CONJUNTO CHASSI

TORQUES CONJUNTO CHASSI <i>Procedimento</i>	PR 0012/0 ABRIL/2009
---	---------------------------------------

ORIGEM: Departamento de Engenharia do Produto
TOTAL DE PÁGINAS: 9
PALAVRA CHAVE: Torques

SUMÁRIO

1. OBJETIVO
2. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES
3. CONDIÇÕES GERAIS

ANEXO 1: FOLHA DE DADOS TÉCNICOS DO FABRICANTE LOCTITE 271
ANEXO 2: FOLHA DE DADOS TÉCNICOS DO FABRICANTE LOCTITE 277

1. OBJETIVO

Esta norma especifica as condições exigíveis para a fixação dos componentes do conjunto chassi, utilizando parafusos flangeados.

ANEXO F - PR 0021/1 – DEFINIÇÃO DE TORQUE NO PROCESSO DE MONTAGEM

DEFINIÇÃO DE TORQUE NO PROCESSO DE MONTAGEM <i>Procedimento</i>	PR 0021/1 JUNHO/2007
---	---------------------------------------

ORIGEM: Departamento de Engenharia do Produto
TOTAL DE PAGINAS: 3
PALAVRA CHAVE: TORQUE

SUMARIO

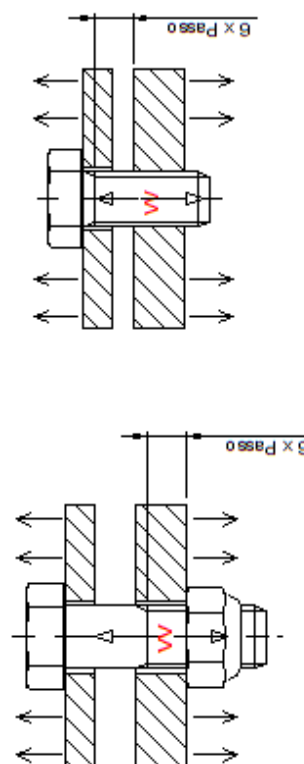
1. OBJETIVO
2. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES
3. DEFINIÇÕES
4. PROCEDIMENTO

1. OBJETIVO

Esta norma fixa as condições exigíveis para definir torques necessários ao processo, que são indicados em roteiro de montagem.

ANEXO G – TABELA 100.011

M12X1,25	MIN.	3,18	4,38	6,95	8,12	4,34	6,82	9,47	11,07	5,79	8,33	12,83	14,76	8,68	13,24	18,94	22,14	MIN.	M12X1,25
MAX.	3,89	5,93	8,49	9,52	5,30	8,09	11,58	13,53	15,53	7,07	10,79	15,44	18,04	10,61	16,18	23,15	27,06	MAX.	M12X1,25
M12X1,5	MIN.	3,05	4,65	6,85	7,77	4,15	6,34	9,06	10,60	5,54	8,45	12,60	14,13	8,31	12,87	18,13	21,20	MIN.	M12X1,5
MAX.	3,72	5,63	8,12	9,50	5,03	7,74	11,03	12,98	14,96	6,77	10,32	14,77	17,37	10,15	15,49	22,15	25,91	MAX.	M12X1,5
M14X1,5	MIN.	5,04	7,69	11,03	12,83	6,37	10,49	15,04	17,50	9,16	13,98	20,06	23,34	13,74	20,97	30,09	35,00	MIN.	M14X1,5
MAX.	6,16	9,40	13,48	15,69	8,40	12,92	18,39	24,39	28,39	11,20	17,08	24,91	29,52	16,79	25,63	37,07	42,78	MAX.	M14X1,5
M16X1,5	MIN.	7,70	11,75	16,35	19,64	10,50	16,62	23,98	28,78	14,00	21,36	30,64	35,71	20,99	32,04	45,96	52,66	MIN.	M16X1,5
MAX.	9,41	14,36	20,59	24,00	12,93	19,58	28,08	35,73	42,54	17,11	25,10	37,44	43,84	25,86	39,16	55,77	63,48	MAX.	M16X1,5
M18X1,5	MIN.	11,00	17,73	24,41	28,64	15,27	24,18	33,29	39,05	20,36	32,43	44,38	52,07	30,54	48,35	66,88	78,11	MIN.	M18X1,5
MAX.	13,68	21,67	29,84	35,00	18,66	29,55	40,69	47,73	54,88	24,88	39,40	54,25	63,54	37,32	59,10	81,37	95,48	MAX.	M18X1,5
M20X1,5	MIN.	15,61	24,70	34,25	40,00	21,28	33,68	46,70	54,55	28,38	44,91	62,47	72,73	42,57	67,36	93,40	109,10	MIN.	M20X1,5
MAX.	19,08	30,19	41,86	48,89	26,01	41,17	57,03	66,67	73,42	38,19	60,61	83,64	97,89	52,03	82,33	114,15	133,35	MAX.	M20X1,5
M22X1,5	MIN.	21,00	33,34	46,00	53,84	28,84	45,46	62,73	73,42	43,64	83,59	113,64	129,92	60,92	90,92	125,47	146,83	MIN.	M22X1,5
MAX.	26,97	40,74	56,23	65,30	35,00	55,66	76,67	89,73	102,83	54,03	102,83	139,64	158,40	70,40	111,12	153,35	179,46	MAX.	M22X1,5
M24X2	MIN.	26,55	41,82	58,01	67,64	36,00	57,03	78,10	92,24	48,27	78,04	105,47	125,99	72,40	114,06	158,20	184,48	MIN.	M24X2
MAX.	32,45	49,72	68,12	79,50	44,25	69,70	96,60	114,74	133,00	59,00	92,94	128,90	150,32	82,49	139,41	193,35	226,48	MAX.	M24X2
M27X2	MIN.	38,46	60,96	84,28	98,40	52,44	83,73	114,93	134,78	69,92	110,84	153,24	178,90	104,89	166,26	229,86	268,35	MIN.	M27X2
MAX.	47,00	74,51	103,01	120,26	64,10	101,60	140,47	163,99	185,99	85,46	135,47	187,29	213,66	128,19	203,20	280,94	327,99	MAX.	M27X2
M30X2	MIN.	53,64	84,78	117,06	138,33	73,15	115,61	159,62	188,59	97,53	154,15	212,83	248,79	148,30	231,22	319,25	373,18	MIN.	M30X2
MAX.	65,66	103,62	143,07	167,24	89,40	141,30	195,10	248,06	288,06	119,40	188,40	260,13	304,07	178,81	282,50	390,19	456,11	MAX.	M30X2
M33X2	MIN.	72,26	114,46	158,02	184,52	98,83	155,81	215,48	251,62	131,38	207,75	287,30	335,49	197,07	311,62	430,95	503,23	MIN.	M33X2
MAX.	88,31	139,95	193,13	226,52	120,44	190,44	263,36	307,53	353,91	160,57	253,91	351,15	410,04	240,86	380,37	526,72	615,06	MAX.	M33X2
M36X3	MIN.	89,74	141,66	195,84	228,84	122,37	193,04	267,05	312,06	163,18	252,38	356,07	416,03	244,74	386,07	524,10	624,11	MIN.	M36X3
MAX.	109,68	173,02	239,36	279,70	149,56	235,93	325,40	381,40	447,40	199,14	314,88	435,20	508,54	299,12	471,37	652,79	762,81	MAX.	M36X3
M39X3	MIN.	115,63	182,61	252,64	293,19	167,55	249,01	344,51	402,53	210,06	325,02	459,34	536,71	313,09	493,92	685,02	805,06	MIN.	M39X3
MAX.	141,21	223,19	308,78	350,79	192,56	304,93	421,07	491,98	561,74	405,80	561,42	755,98	883,12	505,70	812,13	983,96	1153,96	MAX.	M39X3



A1	3	Diogo	Era SAE J701M.	FABR	J. Vagan	50/01/2009
POS.	ITEM	NOME	MODIFICAÇÃO	VERIFICADO	LIBERADO	DATA
TRAFAMENTO TECNICO - PROPRIEDADES MECANICAS			MATERIAL:	---		
PROTEÇÃO SUPERFICIAL CONFORME NORMA AGRALEPR 0059			---			---
TABELA DE TORQUES						
TOLERANCIAS NAS ESPECIFICAÇÕES:			CODIGO:			
3072			ESCALA	1/50 ISO	---	---
AGRALE			MASSA	---		
A. Gasparini			VERIFICADO	LIBERADO	DATA	---
---			J. Vagan	25/11/02/001	---	
5			TB 100.011			

3

4

5

D