

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO  
PARAFUSO DE RODA MANTENDO AS PROPRIEDADES DE  
MONTAGEM**

Éderson Thomé

Lajeado, novembro de 2015.

Éderson Thomé

**PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO  
PARAFUSO DE RODA MANTENDO AS PROPRIEDADES DE  
MONTAGEM**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Univates, como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Guilherme Cortelini da Rosa

Lajeado, novembro de 2015.

Éderson Thomé

**PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO  
PARAFUSO DE RODA MANTENDO AS PROPRIEDADES DE  
MONTAGEM**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica:

Prof. Me. Guilherme Cortelini da Rosa – Orientador  
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Marcelo André Toso  
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Rafael Crespo Izquierdo  
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, 24 de novembro de 2015.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização de um trabalho de conclusão de curso sempre envolve várias pessoas que, de uma forma ou de outra, ajudam em algum momento. Seja de forma direta ou indireta, cada uma delas é responsável por uma parte desta conquista.

Agradeço aos professores do Curso de Engenharia Mecânica da UNIVATES, aos Coordenadores de Curso e, em especial, ao professor Guilherme Cortelini da Rosa, por auxiliar-me com prontidão e por empenhar-se na orientação deste trabalho.

À Metalúrgica Hassmann S.A., especialmente aos seus diretores, Carlos Hassmann e Peter Hassmann, que permitiram a realização deste projeto na empresa.

E, de forma especial, agradeço a minha noiva Karine, pela compreensão nos momentos em que estive ausente. Por estar engajado neste trabalho, nem sempre dispus do tempo desejado para estar com ela.

Enfim, agradeço a cada um que, de alguma forma, contribuiu para a realização deste trabalho.

“As duas únicas certezas que temos no livro de nossa vida é o seu início, com o nascimento, e o final, com a chegada da morte. Quanto ao resto, são páginas vazias, onde podemos escrever a nossa história. Sem sabermos datas nem acontecimentos pré-definidos, podemos apenas traçar objetivos, que quando bem trabalhados, podem ser alcançados, mas mesmo assim, muitas vezes podem não acontecer.”

## RESUMO

Atualmente as empresas sofrem pressões por parte de seus clientes, que buscam a redução de custos. Elas, por sua vez, buscam otimizar processos internos, para conseguir melhores resultados. Além disso, regulamentações governamentais obrigam as empresas a se adequarem, nas mais diferentes áreas, como, por exemplo, a NR-12, norma que rege questões relacionadas à segurança do trabalho. Frente a esse cenário, entre optar pela adequação de uma máquina, ou tirá-la de operação, deixando de fornecer um produto corrente a um cliente, busca-se entre os processos já existentes na empresa alguma forma alternativa de produzir o item e dar continuidade ao fornecimento. Primeiro, buscam-se maiores informações junto ao cliente, para viabilizar a alteração do item, e realizam-se ensaios com peças na condição atual para definir quais são os parâmetros de montagem a serem atendidos. Definidos esses requisitos, são produzidas amostras em diferentes condições, para serem testadas. Posteriormente, verifica-se qual é a nova condição que melhor se adequa aos parâmetros da peça atual. Além dos resultados encontrados atenderem aos parâmetros esperados, também é possível reduzir os custos de produção, em virtude do aumento da velocidade de produção das peças, em uma nova operação.

**Palavras-chave:** Melhoria. Alteração. Parafuso de Roda. Resultados. Redução dos custos de produção.

## ABSTRACT

Nowadays companies are pressed by most of its clients, which are continuously searching for cost reductions. On the other hand, companies are always looking for the optimization of all processes, in order to achieve better results. In addition, government regulations require companies to fit in the most different areas, as for example, the NR -12, a standard/rule that govern issues related to workplace safety. Faced with this scenario, there is a choice to be made between adapting a machine or scrapping it, ceasing to supply a product to a customer. Instead of that, companies can choose an alternative to manufacture the items through the existing processes continuing the supply chain. First of all, it is necessary to collect more information with the customer to enable the modification of the item, and then some tests are done to the part in order to define which are the assembly parameters to be met. With this defined requirements, some samples are produced in different conditions, so that they can be tested. Later, is necessary to verify which condition found will better fit the requirements of the current part. Besides the results found meet the expected parameters, there is also a possibility to reduce production costs, by increasing the speed production of the parts, in a new operation.

**Keywords:** Improvement. Change. Wheel bolt. Results. Reduction of production costs.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Solda por fusão.....	21
Figura 2 – Processo de brasagem.....	22
Figura 3 – Processo de solda branda.....	23
Figura 4 – Uniões formadas por rebites.....	23
Figura 5 – Uniões formadas com parafusos.....	25
Figura 6 – Parafuso sextavado.....	26
Figura 7 – Parafuso flangeado.....	26
Figura 8 – Parafuso allen.....	27
Figura 9 – Parafuso francês.....	28
Figura 10 – Parafuso hexalobular interno.....	29
Figura 11 – Parafuso hexalobular externo.....	29
Figura 12 – Parafuso de roda retificado.....	30
Figura 13 – Parafuso de roda recartilhado.....	31
Figura 14 – Representação da rosca de um parafuso.....	32
Figura 15 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.....	37
Figura 16 – Prensa Hyodong HBPF-550 SSL.....	38
Figura 17 – Peça produzida no primeiro estágio.....	38
Figura 18 – Peça produzida no segundo estágio.....	38
Figura 19 – Peça produzida no terceiro estágio.....	39
Figura 20 – Peça produzida no quarto estágio.....	39

Figura 21 – Peça produzida no quinto estágio.....	39
Figura 22 – Laminadora Charng Guey CGR-810A.....	40
Figura 23 – Peça após laminação da rosca.....	40
Figura 24 – Linha de tratamento térmico REX ITTC-E-1000.....	41
Figura 25 – Retificadora Centerless BOVI-RC40.....	41
Figura 26 – Operação na retificadora Centerless.....	42
Figura 27 – Peça após retificação do corpo.....	42
Figura 28 – Especificação atual do parafuso analisado.....	43
Figura 29 – Prensa hidráulica onde o parafuso é montado no cubo.....	45
Figura 30 – MUEM.....	46
Figura 31 – Ensaio de extração do parafuso.....	47
Figura 32 – Cubo de roda onde o parafuso é montado.....	47
Figura 33 – Especificação do cubo de roda.....	48
Figura 34 – Peça com corpo recartilhado.....	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cronograma de execução do trabalho de conclusão.....	19
Quadro 2 – Diferentes formatos de cabeça de rebites.....	24
Quadro 3 – Tipos de recartilho.....	31
Quadro 4 – Classes de resistência e propriedades para parafusos polegada.....	33
Quadro 5 – Classes de resistência e propriedades para parafusos milimétricos.....	34
Quadro 6 – Força de montagem e força de extração do parafuso atual - retificado.....	49
Quadro 7 – Resultados de montagem e extração do parafuso com recartilho de passo 1,0....	52
Quadro 8 – Resultados de montagem e extração do parafuso com recartilho de passo 1,2....	52
Quadro 9 – Resultados de montagem e extração do parafuso com recartilho de passo 1,6....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
BS	<i>British Standard</i>
BSF	<i>British Standard Fine</i>
BSW	<i>British Standard Whitworth</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MH	Metalúrgica Hassmann S.A.
MUEM	Máquina Universal de Ensaios Mecânicos
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
P/NP	Passa/Não-Passa
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i>
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
UNC	<i>Unified Coarse Screw Threads</i>
UNF	<i>Unified Fine Screw Threads</i>
UNI	<i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione</i>

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Tema e definição do problema.....	13
1.2 Objetivos do trabalho.....	14
1.3 Justificativa e relevância do trabalho.....	15
1.4 Delimitação do tema do trabalho.....	16
1.5 Estrutura do trabalho.....	16
1.6 Problemática a ser analisada.....	17
1.7 Cronograma.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Uniões por soldagem.....	20
2.1.1 Solda por fusão.....	21
2.1.2 Brasagem.....	22
2.1.3 Solda branda.....	23
2.2 Uniões com rebites.....	23
2.3 Uniões com parafusos.....	25
2.3.1 Parafusos sextavados.....	26
2.3.2 Parafusos flangeados.....	26
2.3.3 Parafusos allen.....	27
2.3.4 Parafusos francês.....	28
2.3.5 Parafusos hexalobular.....	28
2.3.6 Parafusos roda.....	29
2.4 Tipos de roscas.....	32
2.5 Materiais para parafusos e classes de resistência.....	33

3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Materiais e métodos.....	35
3.1.1 Detalhamento do fluxo atual.....	37
3.1.2 Análise dos processos internos.....	43
3.1.3 Viabilidade do projeto junto ao cliente.....	44
3.1.4 Realização de ensaios.....	46
3.1.5 Disponibilização de cubos de roda para análise.....	47
3.1.6 Definição dos parâmetros a serem atendidos.....	49
3.1.7 Produção de amostras conforme novo processo.....	50
4 RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	51
4.1 Apresentação dos resultados.....	51
4.2 Análise dos resultados da alteração.....	53
5 CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

# 1 INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura econômica, o principal objetivo das empresas de todos os segmentos, inclusive do ramo metal-mecânico, é aumentar a produtividade e a lucratividade, diminuindo os custos envolvidos durante os processos produtivos internos e externos, e durante os processos logísticos. Nesse sentido, diversas melhorias podem ser realizadas, entretanto, muitas vezes, para que elas sejam efetivadas, é necessário um investimento considerável. No entanto, existem melhorias que podem ser realizadas utilizando processos já existentes dentro das empresas, sem a necessidade de maiores investimentos para obter um resultado positivo.

Já na contramão da redução de custos que o mercado exige, legislações e normas governamentais como, por exemplo, a Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), exigem altos investimentos por parte das empresas na busca de adequações de máquinas e equipamentos necessários à industrialização dos produtos.

É nessa condição de mercado que trabalha a Metalúrgica Hassmann S.A. (MH), uma indústria de elementos de fixação (parafusos e porcas) que está há 60 anos no mercado. Ela está situada no município de Imigrante, no estado do Rio Grande do Sul, e foi o local de desenvolvimento desta pesquisa.

Os principais clientes da MH são empresas dos ramos automotivo (montadoras e sistemistas) e agrícola, além do mercado de peças de reposição. Os produtos da empresa, em sua maioria, são peças especiais que, pela complexidade de sua fabricação, ainda não possuem concorrência expressiva no mercado brasileiro. Por outro lado, peças *standard*, produzidas por outras empresas do mesmo segmento, vêm enfrentando uma forte concorrência de produtos importados da China.

Atendendo às exigências do mercado, a linha de produtos da MH possui características específicas. Esses produtos passam por operações específicas para serem obtidos, e por um controle específico durante o processo de produção.

Para um determinado item, os ganhos de produtividade podem ser obtidos por meio da simplificação ou da alteração de seu processo produtivo. Entretanto, essas mudanças devem considerar os requisitos funcionais da peça, os riscos de acidentes de trabalho, além da necessidade de aplicação de normas de segurança, que muitas vezes exigem enclausuramentos e automações com investimentos elevados.

Na MH, a produção do parafuso de roda com corpo retificado (objeto de estudo deste trabalho) exemplifica muito bem essa situação. Esse parafuso é montado em um cubo utilizado em caminhões leves. Ele é cravado nos furos da circunferência do cubo de roda e possui como principal característica fixar o conjunto aro/pneu de modo que ele não se solte durante o funcionamento. Além disso, permite a substituição do conjunto, sem girar ou soltar.

### **1.1 Tema e definição do problema**

Conforme Souza, Moori e Marcondes (2003), nos dias de hoje, o mercado vem exigindo cada vez mais competitividade de todos os membros da cadeia de fornecimento. Os fornecedores buscam maiores preços por seus produtos, enquanto, do outro lado, os clientes buscam preços mais acessíveis e prazos cada vez menores para a entrega dos produtos adquiridos. Assim, existe a necessidade de as empresas se adequarem a essa situação para conseguirem atender às expectativas de seus clientes, sem perdê-los para os concorrentes.

Para que isso seja possível, conforme Lucchini, Escorsim e Reche (2007), é necessária a busca de meios que possibilitem otimizar os processos internos, maximizando a produtividade da empresa e diminuindo ao máximo perdas que possam ocorrer.

Essas perdas não estão relacionadas apenas à geração de refugos, retrabalhos, sucata, entre outros, mas também, ao próprio método de produção. Enquanto um método pode depender muito tempo e baixar a produtividade, outras formas de realizar a mesma operação podem reduzir o tempo e aumentar a produtividade, gerando um menor custo de produção.

Para Zilli (2003), uma das formas de alcançar esses resultados é analisar os processos internos da empresa, procurando melhorias que possam reduzir os custos envolvidos durante o processo produtivo. Assim, busca-se substituir processos atuais por outros que já existem na empresa, sem que haja a necessidade de altos investimentos para obter melhores índices de produtividade.

Nesse sentido, é possível afirmar que a alteração de um processo de produção está fundamentada nos princípios de redução de custos de fabricação, melhoria e readequação de processos internos, mantendo as características dos produtos envolvidos, tais como parâmetros de montagem, funcionalidade e características mecânicas.

O processo de produção do parafuso de roda, objeto de análise do presente trabalho, ocorre em uma máquina que precisa ser desativada em função de não atender a NR-12. O processo de retificação é realizado de forma manual e sua produtividade é muito baixa. Além disso, frequentemente, peças são produzidas fora dos limites dimensionais (cuja faixa de tolerância é estreita). Isso acaba impactando negativamente o processo de montagem realizado pelo cliente.

A partir dessas premissas, chega-se ao objetivo deste trabalho: analisar os processos de produção existentes na empresa, para determinar uma forma alternativa de processo a ser utilizado, buscando melhorias na produção do parafuso de roda, tanto na questão custos quanto em questões como segurança do trabalho, qualidade e produtividade.

## **1.2 Objetivos do trabalho**

O presente trabalho visa analisar os processos de fabricação do parafuso de roda já existente na empresa, propondo melhorias de produção, mantendo os requisitos necessários da peça e atendendo às legislações aplicáveis.

Os objetivos específicos deste trabalho podem ser descritos como:

- identificar possíveis processos do fluxo de produção que possam ser alterados;
- avaliar a viabilidade de implementação de outros processos disponíveis na empresa;
- propor um novo processo de fabricação, através do qual seja possível obter peças que mantenham características de montagem similares às dos parafusos produzidos atualmente.

### 1.3 Justificativa e relevância do trabalho

A MH conhece as limitações relacionadas ao seu processo produtivo e as possibilidades de melhoria existentes, viáveis, que poderiam ser implementadas. Isso é de fundamental importância para poder sugerir aos clientes melhorias ou simplificações que poderiam ser realizadas nos produtos, mantendo as características de funcionalidade inicialmente projetadas para a aplicação.

É importante frisar que qualquer melhoria só pode ser implementada para fornecimento ao cliente após o seu aval, visto que, conforme a ISO/TS 16949, primeiro é necessária a aprovação formal do PPAP<sup>1</sup> pelo cliente, para então ser possível o fornecimento das peças modificadas.

Espera-se que, com o presente estudo, seja possível sugerir uma forma alternativa para a produção do parafuso, reduzindo significativamente o tempo de operação, atendendo à legislação vigente relacionada à segurança do trabalho, melhorando os índices de qualidade dos lotes produzidos e mantendo as propriedades mecânicas necessárias para a montagem e a funcionalidade do conjunto.

Para a Instituição de Ensino, este trabalho se justifica, pois poderá ser utilizado como fonte de pesquisa para outros acadêmicos que tenham interesse em aprofundar seus conhecimentos sobre o presente tema, ou para profissionais que tenham interesse no assunto e que procurem alguma sugestão de melhoria de processo.

E, finalmente, para o acadêmico-pesquisador, este trabalho é de fundamental importância, visto que possibilita vivenciar na prática assuntos abordados na teoria durante a academia. Essa conexão entre teoria e prática é extremamente importante para um melhor entendimento do assunto, além de futuramente possibilitar novas oportunidades como a especialização nesta área de conhecimento.

---

<sup>1</sup> Requisito para empresas do segmento automotivo, composto por um conjunto de documentos que devem ser submetidos ao cliente para que ocorra o Processo de Aprovação de Peças de Produção. Todo item novo, ou que possui alguma alteração obrigatoriamente passa por este processo.

### **1.4 Delimitação do tema do trabalho**

A análise a ser realizada neste trabalho levará em consideração um parafuso específico, que faz parte do portfólio de produtos da empresa e que possui especificações particulares.

A contrapeça<sup>2</sup> também possui características e especificações ímpares, as quais se aplicam apenas a esse tipo de produto.

Em função dessas variáveis, deve-se frisar que os resultados encontrados ao final deste trabalho são específicos para o conjunto que está sendo analisado.

Dessa forma, qualquer conclusão obtida, pode não ser aplicável a outros conjuntos semelhantes. Novos ajustes e ensaios deverão ser realizados, a fim de comprovar a eficácia dos mesmos em outras condições.

### **1.5 Estrutura do trabalho**

O primeiro Capítulo apresenta algumas características gerais deste trabalho, como a definição dos objetivos, da justificativa e da relevância do estudo. Também é realizada a delimitação do tema do trabalho e a definição de um cronograma de atividades para sua elaboração.

No segundo Capítulo, realiza-se um levantamento bibliográfico com a abordagem dos principais tipos de elementos de fixação, como uniões soldadas, rebites e parafusos. Na sequência, é realizada uma abordagem das principais classes de resistência dos parafusos, bem como dos materiais a serem utilizados para a produção dos mesmos. Além disso, também são abordados os principais processos de produção de um parafuso, focando-se principalmente na análise do parafuso de roda, objeto analisado neste trabalho.

O terceiro Capítulo trata dos materiais e métodos utilizados na execução do presente trabalho. De uma forma mais específica, nesse capítulo é realizado o detalhamento do fluxo de produção atual, por meio da descrição de cada etapa da produção. Os processos internos são analisados e, paralelamente, verifica-se a viabilidade do projeto junto ao cliente, para na

---

<sup>2</sup> Cubo de roda, onde o parafuso é montado.

sequência abordar os ensaios de validação e as especificações a serem atendidas na nova condição a ser proposta. Ao término desse capítulo, abordam-se a produção das novas amostras, seguindo o fluxo do processo com as possíveis alterações sugeridas, e os ensaios realizados com as novas peças produzidas, para a coleta de dados. Os resultados serão analisados e comparados aos resultados encontrados nos ensaios com as peças na condição atual de fornecimento.

No quarto Capítulo, são descritos os resultados obtidos durante os ensaios realizados com peças na condição atual de fornecimento, e também os resultados encontrados após as alterações realizadas no fluxo de produção do item, com objetivo de melhoria dos resultados. Nesse capítulo, também são detalhados os resultados encontrados em cada uma das situações analisadas e os benefícios que uma possível alteração pode trazer, caso seja implementada.

As conclusões obtidas, a partir dos resultados encontrados nos ensaios realizados em diferentes condições de fluxo de processo, são analisadas no último capítulo. Por fim, esse capítulo também justifica a possibilidade de utilização do parafuso produzido com a nova característica construtiva.

## **1.6 Problemática a ser analisada**

Não bastassem as pressões que as empresas sofrem por parte dos seus clientes, que buscam a redução de custos, elas precisam melhorar processos internos buscando melhores resultados e também cumprir regulamentações governamentais que as obrigam a se adequar nas mais diferentes áreas.

Para tanto, a NR-12 e seus anexos “definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos”.

Para atender a esses requisitos, ainda conforme a NR-12, “deve-se adotar medidas de proteção para o trabalho em máquinas e equipamentos, capazes de garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores, e medidas apropriadas sempre que houver pessoas com deficiência envolvidas direta ou indiretamente no trabalho”, além da necessidade de “atender

ao princípio da falha segura”, inclusive nas máquinas já existentes, de modo a minimizar o risco de o funcionário sofrer algum acidente de trabalho.

Dessa forma, para a realização do presente trabalho, buscou-se um produto – parafuso de roda com corpo retificado – cuja operação ocorre em uma retificadora que não está adequada a NR-12. O processo nesta máquina ocorre de forma manual e existe um risco bastante elevado de acidentes de trabalho.

Para que seja realizada a adequação desta máquina conforme a NR-12, seria necessário um investimento bastante elevado, visto que, conforme um pré-levantamento realizado, a alimentação e a retirada das peças já processadas, bem como o avanço e o retorno dos rebolos, deveriam ser realizados de forma automatizada.

Como esta máquina já possui vários anos de uso, cogita-se retirá-la de operação. Entretanto, para não deixar de fornecer o item ao cliente, busca-se entre os processos já existentes na empresa, alguma forma alternativa de produzi-lo, em uma máquina já adequada a NR-12.

Para que esta alteração seja possível, será necessária a realização de ensaios que comprovem que a nova condição de fornecimento realmente irá atender aos parâmetros que o atual parafuso retificado possui.

## **1.7 Cronograma**

A realização de um Trabalho de Conclusão de Curso é bastante complexa: diferentes atividades precisam ser executadas, desde as primeiras ideias que surgem, até a sua defesa para a banca avaliadora.

Nesse sentido, é necessário definir quais são as principais atividades e criar um cronograma com a estimativa do tempo necessário para a realização de cada uma delas. Isso auxilia na divisão do tempo disponível e também no controle das tarefas já realizadas e das que ainda estão por fazer.

A seguir é apresentado o cronograma (QUADRO 1) referente às atividades desempenhadas durante a execução deste Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa I e Etapa II, necessárias para a conclusão do projeto.

Quadro 1 – Cronograma de execução do trabalho de conclusão

Período	Mar. /15		Abr. /15		Maio /15		Jun. /15		Jul. /15		Ago. /15		Set. /15		Out. /15		Nov. /15		Dez. /15	
	1ª quin	2ª quin																		
Reunião inicial de TCC	X																			
Definir tema do trabalho	X																			
Definir orientador para o trabalho	X																			
Elaborar introdução, referencial teórico e metodologia		X	X	X	X				X	X	X	X	X	X						
Realizar correção						X														
Entregar trabalho para avaliação							X													
Elaborar instrumento de coleta de dados									X	X										
Obter parafusos e cubos de roda para ensaios										X	X									
Coletar dados											X	X								
Analisar dados												X	X							
Apurar resultados/ conclusões														X						
Redigir documento final															X					
Efetuar a revisão ortográfica																X				
Entregar monografia																	X			
Defender monografia																		X		
Efetuar correções solicitadas na banca																		X		
Entrega da versão final da monografia																				X

Fonte: Do autor (2015).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O presente capítulo apresenta um estudo bibliográfico sobre os vários tipos de uniões existentes (focando principalmente em parafusos), fornecendo ao leitor um embasamento necessário para o desenvolvimento do presente trabalho.

Nesse sentido, serão abordados os diferentes tipos de elementos de fixação, as classes de resistência e os processos de produção que podem ser utilizados, para que, desta forma, seja possível compreender as análises que serão realizadas e as sugestões propostas no decorrer deste trabalho.

Os elementos de fixação surgiram há vários anos e podem ser confeccionados a partir de diferentes materiais, entre eles, madeira, plástico e aço. Os elementos de fixação também são os mais variados: solda, rebites, pinos e cavilhas, molas, pares de rolamento e parafusos.

### **2.1 Uniões por soldagem**

Conforme Niemann (1971), o processo de soldagem consiste na união entre dois corpos, mediante a utilização de calor, com ou sem a aplicação de pressão. Pode ser aplicada em materiais como aço, ferro fundido, ligas de cobre, alumínio, chumbo, entre outros, e mais recentemente, a sua aplicação também é possível em materiais termoplásticos.

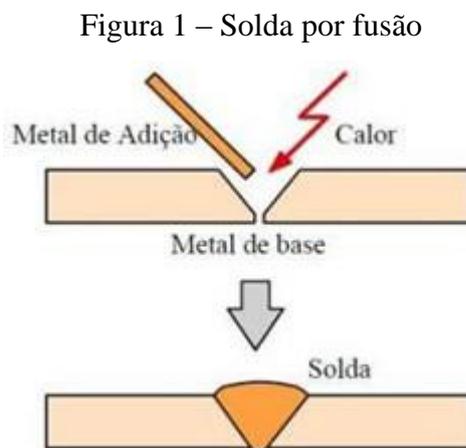
Um dos primeiros registros da utilização do processo de soldagem é um pingente de ouro fabricado na Pérsia, datado de aproximadamente 4.000 a.C. Já durante a II Guerra Mundial, o processo de soldagem teve um grande impulso, devido à fabricação de navios e aviões soldados (Wainder, Brandi e Mello, 2004).

As uniões soldadas ocorrem de forma microscópica – interatômica ou intermolecular – e conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2011, p. 17), consistem na “aproximação dos átomos ou moléculas das peças a serem unidas, ou destes e de um material intermediário adicionado à junta, até distâncias suficientemente pequenas para a formação de ligações químicas”.

O processo de soldagem pode ser classificado levando-se em consideração a fonte de energia utilizada para o processo, ou a natureza da união que ocorre com o processo. Conforme Machado (1996), existem três grupos de processos dedicados à união de materiais, que são a soldagem, a brasagem e a solda branda.

### 2.1.1 Solda por fusão

Conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2011), o processo de soldagem por fusão (FIGURA 1) pode ocorrer por meio de diferentes formas de aquecimento, o que permite a classificação dos tipos de processo em quatro grupos: aquecimento por resistência elétrica, aquecimento termoquímico, aquecimento por energia radiante e aquecimento por arco elétrico.



Fonte: Do autor, adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011).

A soldagem por meio de resistência elétrica pode gerar a solda por ponto, a solda por costura, a solda por projeção, a solda por percussão e a solda por eletroescória.

Já a soldagem por aquecimento termoquímico proporciona a soldagem por chama, a solda por aluminotermia e a solda por hidrogênio atômico.

O processo de soldagem por aquecimento por energia radiante permite a soldagem a laser, a soldagem por feixe de elétrons e a soldagem por imagem de fonte de energia.

Segundo Machado (2004), na união de materiais, os processos de soldagem por meio de arco elétrico são responsáveis pelo maior número de aplicações, e podem ser realizados com proteção de gás, com proteção de escoria ou sem proteção. Pode ser utilizado um eletrodo consumível ou um não consumível. Nesta classificação estão presentes as soldagens a arco por prisioneiro (magneticamente impelido), a arame nu, a plasma, a carbono, a eletrogás, a arco submerso e as soldagens TIG, MIG/MAG, tubular e revestida.

### 2.1.2 Brasagem

Conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2011), a brasagem (FIGURA 2) também é um processo de soldagem, sendo composta pelos processos de solda difusão, imersão, em forno, indução elétrica, infravermelha e resistência elétrica.

Figura 2 – Processo de brasagem



Fonte: Do autor, adaptado de *Uniweld* (2015).

Conforme Marques, Modenesi e Bracarense (2011, p. 335), no processo de brasagem ocorre a “coalescência dos metais pelo aquecimento a uma temperatura adequada e pelo uso do metal de adição que tem um ponto de fusão abaixo da temperatura do metal base”, motivo pelo qual este último nunca é levado à fusão. Esta temperatura normalmente se eleva acima de 450°C, mas permanece abaixo do ponto de fusão do metal base, o que faz com que o material de adição sofra a fusão junto ao primeiro.

### 2.1.3 Solda branda

O processo da solda branda (FIGURA 3) é muito similar ao processo da brasagem, entretanto, no processo de solda branda, a temperatura máxima utilizada não ultrapassa os 450°C (Machado, 1996).

Figura 3 – Processo de solda branda



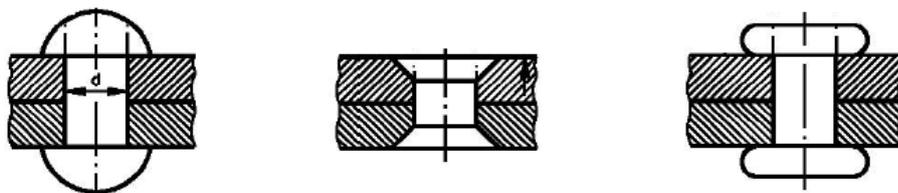
Fonte: Do autor, adaptado de Cennabras (2015).

Ainda segundo o autor, a diferença entre os dois processos consiste no material a ser aquecido. Na brasagem, o material de adição é aquecido; na solda branda o material base é aquecido e, por radiação, ocorre o aquecimento do material de adição, que sofre a fusão junto ao material base.

## 2.2 Uniões com rebites

Conforme Franceschi e Antonello (2014, p. 22) o rebite é “um elemento de fixação empregado em uniões permanentes (FIGURA 4), sendo formado por um corpo cilíndrico e uma cabeça e usado para fixação de duas ou mais peças”.

Figura 4 – Uniões formadas por rebites

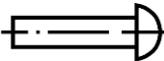
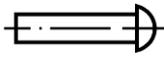
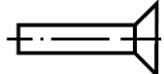
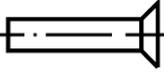
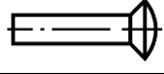
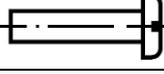
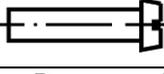


Fonte: Do autor, adaptado de Barbosa (2011).

Com a sua utilização, conforme Niemann (1971), é possível obter junções de elevada resistência, estanques e de responsabilidade, portanto sua aplicação pode ocorrer em estruturas de edifícios, pontes, guindastes, caldeiras e reservatórios de alta pressão e, inclusive, aviões.

Quanto aos tipos de rebites, eles podem ser classificados conforme o formato da cabeça (QUADRO 02).

Quadro 02 – Diferentes formatos de cabeça de rebites

<b>Tipo de Rebite</b>	<b>Formato da Cabeça</b>	<b>Utilização</b>
	Cabeça redonda larga	Largamente utilizados devido à resistência que oferecem.
	Cabeça redonda estreita	
	Cabeça escareada chata larga	Empregados em uniões que não admitem saliências.
	Cabeça escareada chata estreita	
	Cabeça escareada com calota	Empregados em uniões que admitem pequenas saliências.
	Cabeça tipo panela	
	Cabeça cilíndrica	Usados nas uniões de chapas com espessura máxima de 7 mm.

Fonte: Do autor, adaptado de Gordo e Ferreira (2000, p. 12).

Conforme Franceschi e Antonello (2014), a aplicação dos rebites pode ocorrer de duas formas: por meio de processo manual ou por meio de processo mecânico.

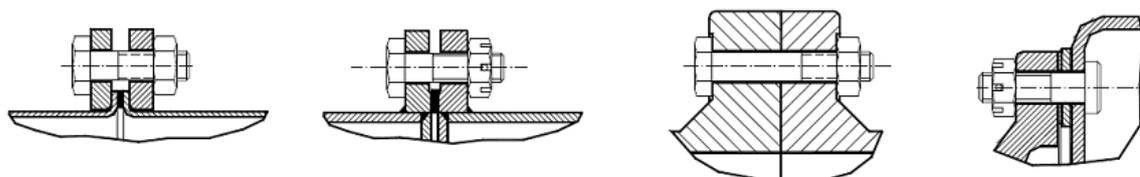
No primeiro caso – processo manual – a aplicação é realizada à mão, com pancadas de martelo. Conforme Barbosa (2011, p. 13), “antes de iniciar o processo, é preciso comprimir as duas superfícies metálicas a serem unidas, com auxílio de duas ferramentas: o contra-estampo, que fica sob as chapas, e o repuxador, que é uma peça de aço com furo interno, no qual é introduzida a ponta saliente do rebite”.

Já no processo mecânico, conforme Franceschi e Antonello (2014), a aplicação é realizada por meio de martelo pneumático ou de rebidadeiras pneumáticas e hidráulicas. Nesse processo, o martelo pneumático é ligado a um compressor de ar, por meio de tubos flexíveis, e opera sob pressão, que pode variar conforme a aplicação.

### 2.3 Uniões com parafusos

Para Monteiro (2011), as uniões com parafusos (FIGURA 5) são largamente utilizadas por se tratarem de uniões não permanentes, entre dois ou mais elementos, que podem ser desfeitas quando necessário.

Figura 5 – Uniões formadas com parafusos



Fonte: Do autor, adaptado de Monteiro (2014, p. 10).

Conforme Milatias (2006), alguns autores consideram que os primeiros parafusos – ainda sem rosca – foram desenvolvidos em torno de 400 a.C. por Archytas de Tarentum, na Grécia. Conforme pesquisas, as principais aplicações ocorriam em prensas de óleo de azeitona e na produção de vinho.

Conforme Barbosa (2011), por volta de 250 a.C., Arquimedes desenvolveu o princípio da rosca, com a finalidade de elevação de água para irrigação. No princípio, os parafusos utilizavam como matéria-prima a madeira. Somente por volta de 1400 d.C., o metal começou a ser utilizado para a produção de parafusos.

Na atualidade, o aço é a matéria-prima utilizada em maior quantidade para a produção de parafusos. Entretanto, também é utilizado aço inoxidável, titânio, bronze e plástico, entre outros materiais, conforme a característica funcional que o parafuso deve ter (Milatias, 2006).

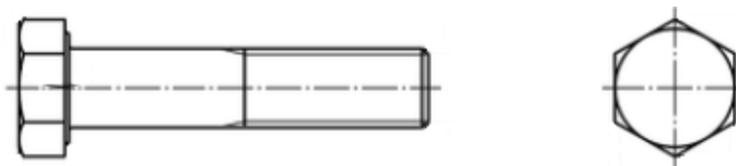
Conforme Niemann (1971), os parafusos podem ser empregados em várias situações, sendo classificados em Parafusos de Fixação, para junções desmontáveis; Parafusos de Proteção, para aplicação de tensores; Parafusos Obturadores, para tampar orifícios; Parafusos de Ajuste, para a eliminação de folgas ou a compensação de desgastes; Parafusos Micrométricos, para obter deslocamentos mínimos; Parafusos de Potência, para obter grandes forças axiais por meio de pequenas forças tangenciais; Parafusos de Movimento, para a transformação de movimentos rotativos em movimentos retilíneos; e Parafusos Diferenciais, para a obtenção de pequenos deslocamentos.

De forma mais usual, os parafusos também podem ser classificados conforme o formato da cabeça que possuem. Entre outros tipos, há o parafuso sextavado, o flangeado, o allen, o francês, o hexalobular e o de roda.

### 2.3.1 Parafusos sextavados

Conforme Fontana (2004) os parafusos de chave sextavada, ou sextavados (FIGURA 6), são compostos por uma haste, a qual pode ser parcialmente ou totalmente roscadas, e uma chave em formato sextavado. Este tipo de parafuso é o mais utilizado, devido a sua simplicidade, à facilidade de fabricação e disponibilidade das ferramentas de aperto.

Figura 6 – Parafuso sextavado



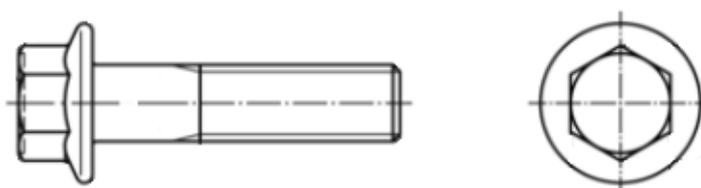
Fonte: Do autor, adaptado de ISO 4014:2011 (2015).

As principais funções da cabeça dos parafusos consistem em permitir uma manipulação adequada para a chave de aperto e proporcionar uma superfície de apoio para o aperto adequado das juntas parafusadas (HASSMANN, 2012).

### 2.3.2 Parafusos flangeados

Os parafusos de cabeça flangeada, ou simplesmente flangeados (FIGURA 7), da mesma forma que os parafusos sextavados, possuem uma cabeça hexagonal. A diferença mais significativa que este último possui em relação ao primeiro está na flange localizada abaixo da região sextavada da cabeça.

Figura 7 – Parafuso flangeado



Fonte: Do autor, adaptado de ISO 4162:2012 (2015).

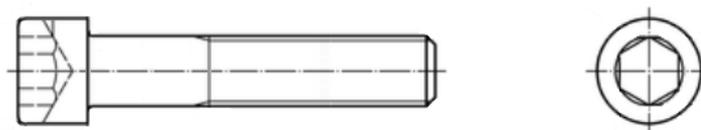
Normalmente, conforme Connolly (2013), quando existe a necessidade de aplicar cargas bastante elevadas sobre o parafuso, as quais corresponderiam a altas pressões específicas sobre a superfície de apoio da cabeça, é necessário aumentar essa região. Essa exigência é maior na montagem de componentes de materiais de baixa resistência (alumínio e suas ligas). Nesses casos, a solução consiste em colocar uma arruela entre o parafuso e a contrapeça, ou então utilizar um parafuso flangeado, que proporciona uma maior superfície de apoio para o parafuso em relação à contrapeça.

O diâmetro dos flanges é dimensionado de acordo com a superfície de apoio que pretende ser obtida e, portanto, conforme as pressões máximas admissíveis especificadas para os elementos a serem unidos (FONTANA, 2004).

### 2.3.3 Parafusos allen

Os parafusos allen, ou de sextavado interno (FIGURA 8), conforme Barbosa (2011), possuem um furo hexagonal de aperto na cabeça, a qual é cilíndrica. Para o aperto, utiliza-se uma chave allen. Da mesma forma que os parafusos sextavados, são bastante utilizados devido à facilidade de fabricação e disponibilidade das ferramentas de aperto.

Figura 8 – Parafuso allen



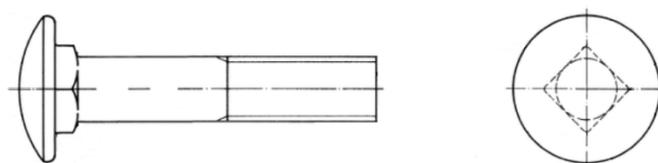
Fonte: Do autor, adaptado de ISO 4762:2004 (2015).

Entre as desvantagens da utilização deste tipo de parafuso, está o fato de ele não permitir a transmissão de um torque elevado, pois os parafusos com esta característica construtiva estão sujeitos à deformação da chave interna e, inclusive, podem causar um desgaste significativo nas ferramentas de aperto (HASSMANN, 2012).

### 2.3.4 Parafusos francês

Normalmente, os parafusos possuem uma cabeça plana. No caso dos parafusos francês (ISO 8678), a cabeça tem a forma abaulada, com um raio sobre a mesma. Já abaixo da cabeça deste tipo de parafuso, existe um pequeno quadrado (FIGURA 9).

Figura 9 – Parafuso francês



Fonte: Do autor, adaptado de ISO 8678:1988 (2015).

Diferente dos outros tipos de parafuso, a funcionalidade do quadrado abaixo da cabeça dos parafusos francês não se refere à superfície de apoio, tratando-se, também, de uma secção de alojamento, a qual deve encaixar-se na contrapeça com o objetivo de não permitir a rotação do parafuso durante o processo de montagem (FONTANA, 2004).

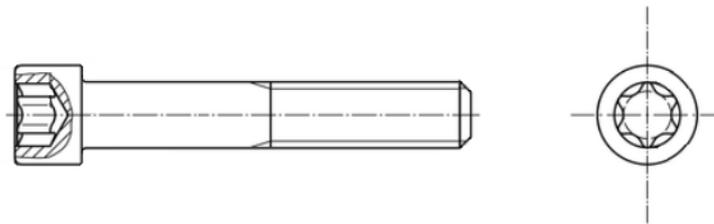
### 2.3.5 Parafusos hexalobulares

Os parafusos com chave hexalobular (também chamado de Torx<sup>®</sup>) não possuem uma utilização muito grande. Em parte, isso se deve à ter sido desenvolvida apenas em 1967, além da complexidade de fabricação e à baixa disponibilidade das ferramentas de aperto necessárias. A maior utilização ocorre em aplicações específicas (ACUMENT, 2015).

Este tipo de parafuso é encontrado na configuração de chave interna (FIGURA 10) e também de chave externa (FIGURA 11), sendo utilizado, normalmente, em aplicações específicas, em que é necessária a aplicação de um torque elevado.

Conforme Acument (2015), esta diferença na aplicação do torque consiste na redução do ângulo de contato entre a ferramenta de aperto e a chave do parafuso. Nos parafusos sextavados, por exemplo, o contato ocorre a cada 60°, enquanto na utilização da chave, este contato é reduzido para 15°.

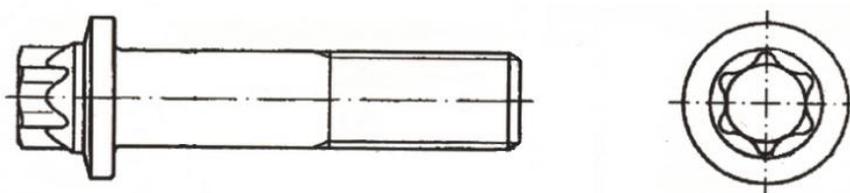
Figura 10 – Parafuso hexalobular interno



Fonte: Do autor, adaptado de ISO 14579:2011 (2015).

O parafuso hexalobular de chave interna (FIGURA 10) tem como vantagem frente ao parafuso allen (sextavado interno), o fato de o contato da ferramenta de aperto ocorrer em toda a superfície da chave do parafuso, não em uma única linha, causando menos deformação do parafuso e também menos desgaste das ferramentas (HASSMANN, 2012).

Figura 11 – Parafuso hexalobular externo



Fonte: Do autor, adaptado de DIN 34800:2005 (2015).

Ainda conforme Hassmann (2012), o parafuso hexalobular de chave externa (FIGURA 11) também tem como vantagem, frente aos parafusos sextavados e flangeados, a maior transmissão de torque, uma vez que o contato com a ferramenta de aperto é feita sobre toda a superfície da cabeça, não apenas em uma única linha, como ocorre nos outros parafusos. Devido a requisitos de construção, as chaves hexalobulares externas normalmente são combinadas com flanges, proporcionando alturas de cabeça maiores do que outras chaves.

### 2.3.6 Parafusos de roda

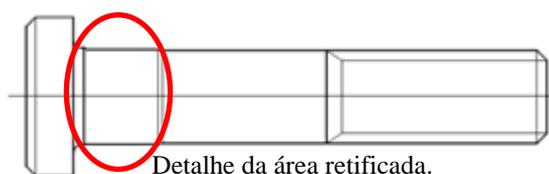
Parafusos de roda normalmente são utilizados para a fixação de rodas de caminhões, tratores e máquinas de construção, e possuem a finalidade de unir o conjunto aro/pneu aos cubos das rodas.

Esses parafusos são cravados para dentro do furo do cubo, permanecendo permanentemente bloqueados, de modo que não ocorra o afrouxamento dos mesmos durante a sua utilização em campo.

Conforme Fontana (2004), por serem classificados como parafusos de segurança, o tamanho de suas bitolas normalmente varia de M18 a M27, e eles possuem características mecânicas especificadas pela classe de resistência 10.9.

O mecanismo de cravamento deste tipo de parafuso pode ser através de superfície retificada (FIGURA 12), ou através de saliências ou recartilhos (FIGURA 13). Os recartilhos permitem a montagem de interferência no furo do cubo da roda.

Figura 12 – Parafuso de roda retificado



Fonte: Do autor, adaptado do desenho do cliente (2015).

A produção dos parafusos de roda retificados (FIGURA 12) é um tanto quanto complexa, pois normalmente possuem uma tolerância bastante restrita. O processo de produção é realizado em retificadoras cilíndricas Centerless, conforme apresenta-se a seguir.

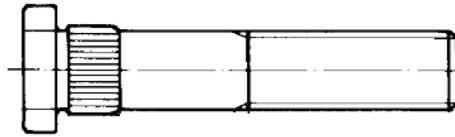
O processo de retificação é considerado uma operação de corte no processo de usinagem. Devido ao aquecimento que ocorre durante este processo, existe a necessidade de utilizar líquidos refrigerantes à base de óleos emulsionáveis (Ferraresi, 2012).

Também é importante frisar que a ferramenta de corte nesse processo é o rebolo, constituído de materiais abrasivos que, quando entram em contato com a peça, realizam a usinagem do material (Diniz, Marcondes e Coppini, 2013).

Neste processo, contudo, é necessário selecionar muito bem os fluidos que serão utilizados no processo de refrigeração. Um acúmulo de óleos graxos pode propiciar a formação de depósitos no sistema de refrigeração e, inclusive, provocar uma carga adicional ao rebolo de corte.

Já a produção dos parafusos de roda recartilhados (FIGURA 13) é mais simples, pois eles normalmente possuem uma tolerância maior.

Figura 13 – Parafuso de roda recartilhado

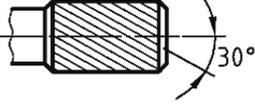
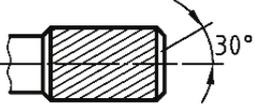
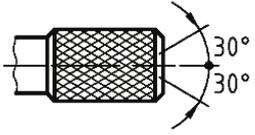
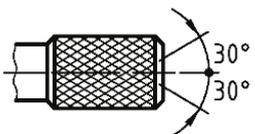
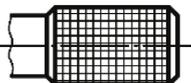
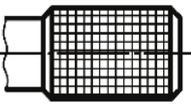


Fonte: Do autor, adaptado de UNI 8954:1987 (2015).

O diâmetro primitivo do corpo no qual será laminado o recartilhado não possui uma tolerância tão restrita – normalmente varia entre 0,05 e 0,10 mm. O processo de laminação do recartilho pode ser realizado em laminadoras manuais, ou em laminadoras automáticas.

Já as formas de recartilho que podem ser produzidas são as mais variadas. Os recartilhos podem ser paralelos, oblíquos, oblíquos cruzados, paralelos cruzados (QUADRO 3), em que  $t$  corresponde ao passo das estrias,  $d1$  corresponde ao diâmetro final e  $d2$  corresponde ao diâmetro de preparação da peça.

Quadro 3 – Tipos de recartilho

Símbolo	Denominação	Representação	Pico	Diâmetro da Peça
RAA	Recartilho paralelo		-	$d2 = d1 - 0,5 \cdot t$
RBR	Recartilho oblíquo à direita		-	$d2 = d1 - 0,5 \cdot t$
RBL	Recartilho oblíquo à esquerda		-	$d2 = d1 - 0,5 \cdot t$
RGE	Recartilho oblíquo cruzado		Expansão de material (alto relevo)	$d2 = d1 - 0,67 \cdot t$
RGV	Recartilho oblíquo cruzado		Expansão de material (baixo relevo)	$d2 = d1 - 0,33 \cdot t$
RKE	Recartilho paralelo cruzado		Expansão de material (alto relevo)	$d2 = d1 - 0,67 \cdot t$
RKV	Recartilho paralelo cruzado		Expansão de material (baixo relevo)	$d2 = d1 - 0,33 \cdot t$

Fonte: Do autor, adaptado de NBR 14957:2003 (2015).

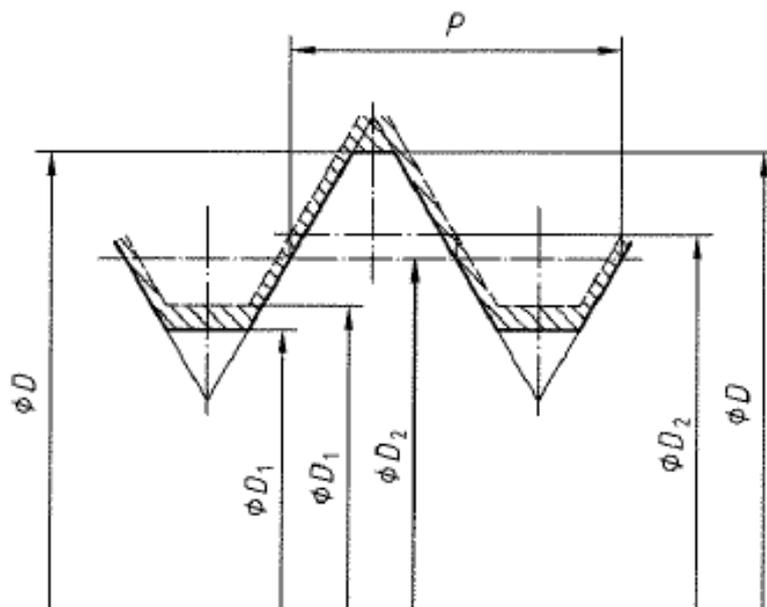
Os passos  $t$  utilizados na produção podem ser os mais variados. Conforme a DIN 82 (1973), os passos normalizados para os recartilhados dos parafusos são 0,5, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2 e 1,6. Entretanto, outros passos também podem ser utilizados conforme especificação e projeto realizado por cada empresa.

## 2.4 Tipos de roscas

As roscas dos parafusos possuem as mais variadas especificações. Existem roscas milimétricas, cujas especificações constam na norma DIN 13; existem as roscas polegadas (americanas), classificadas em UNC e UNF, cujas especificações constam na norma ASME B1.1; existem as roscas polegadas (inglesas), classificadas em BSF e BSW, normalizadas pela BS 84, e também existem roscas menos comuns, como roscas quadradas, trilobulares, entre outras (Hassmann, 2012).

No caso das roscas milimétricas, as dimensões mais comuns a serem controladas são o diâmetro nominal ou externo ( $\phi D$ ), o diâmetro interno ( $\phi D_1$ ) e o diâmetro intermediário ou de flancos ( $\phi D_2$ ), além do passo ( $P$ ), que é a distância entre um filete de rosca e outro, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Representação da rosca de um parafuso



Fonte: Do autor, adaptado de DIN 13-21:2005 (2015).

### 2.4.1 Materiais para parafusos e classes de resistência

Os materiais utilizados para a produção de parafusos são os mais variados, conforme for a aplicação do parafuso. Podem ser utilizados materiais plásticos (polímeros), madeira, aço inoxidável e até aços-carbono ou aços ligados.

Normalmente, os parafusos são fabricados a partir de aços-carbono. Eles atendem à norma SAE J429:2014, no caso de parafusos polegada, e à norma ISO 898-1:2013, quando são parafusos milimétricos.

Os parafusos polegada normalmente são classificados em Graus. Conforme a SAE J429:2014, podem ter grau de resistência 1, 2, 4, 5, 5.1, 5.2, 8, 8.1 e 8.2 (QUADRO 4). Esses parafusos também podem ser produzidos a partir de aços baixo ou médio carbono, e até aços ligados, com a necessidade ou não da realização de um processo de têmpera e revenimento, conforme for a especificação do parafuso.

Quadro 4 – Classes de resistência e propriedades para parafusos polegada

Grau de Resistência	Dureza		Resistência à Tração	Material e tratamento térmico	Limites de Composição Química (%)					
	mín.	máx.			mín.	C		P	S	B
			mín.			máx.	máx.	máx.	mín.	máx.
1	70 HRB	100 HRB	415 N/mm <sup>2</sup>	Aço baixo ou médio carbono	-	0,55	0,025	0,025	-	-
2	80 HRB	100 HRB	510 N/mm <sup>2</sup>	Aço baixo ou médio carbono	0,15	0,55	0,025	0,025	-	-
4	22 HRC	32 HRC	790 N/mm <sup>2</sup>	Aço médio carbono	0,28	0,55	0,025	0,13	-	-
5	25 HRC	34 HRC	830 N/mm <sup>2</sup>	Aço médio carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	-
				Aço-carbono com aditivos (Ex. B, Mn, ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,0005	0,003
5.1	25 HRC	40 HRC	830 N/mm <sup>2</sup>	Aço baixo ou médio carbono temperado e revenido	0,15	0,30	0,025	0,025	-	0,003
5.2	26 HRC	36 HRC	830 N/mm <sup>2</sup>	Aço baixo carbono ao boro temperado e revenido	0,15	0,25	0,025	0,025	0,0005	0,003
8	33 HRC	39 HRC	1030 N/mm <sup>2</sup>	Aço-carbono com aditivos (Ex. B, Mn, ou Cr) temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	0,003
				Aço médio carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	-
				Aço liga temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	-	-
8.1	33 HRC	39 HRC	1030 N/mm <sup>2</sup>	Aço liga com médio carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,040	-	-
8.2	33 HRC	39 HRC	1030 N/mm <sup>2</sup>	Aço baixo carbono temperado e revenido	0,15	0,25	0,025	0,025	0,0005	0,003

Fonte: Do autor, adaptado de SAE J429:2014 (2015).

Os parafusos milimétricos, conforme a ISO 898-1:2013, são classificados em Classes de Resistência, que são 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 9.8, 10.9 a 12.9 (QUADRO 5). Esses parafusos também podem ser produzidos a partir de aços baixo ou médio carbono, e até aços ligados, com a necessidade ou não da realização de um processo de têmpera e revenimento, conforme for a especificação do parafuso.

Quadro 5 – Classes de resistência e propriedades para parafusos milimétricos

Classe de Resistência	Dureza		Resistência à Tração mín.	Material e tratamento térmico	Limites de Composição Química (%)				
	mín.	máx.			C		P	S	B
					mín.	máx.	máx.	máx.	máx.
4.6	67 HRB	95 HRB	400 N/mm <sup>2</sup>	Aço-carbono ou Aço-carbono com aditivos	—	0,55	0,05	0,06	Não Especificado
4.8	71 HRB	95 HRB	420 N/mm <sup>2</sup>		0,13	0,55	0,05	0,06	
5.6	79 HRB	95 HRB	500 N/mm <sup>2</sup>		—	0,55	0,05	0,06	
5.8	82 HRB	95 HRB	520 N/mm <sup>2</sup>		0,15	0,55	0,05	0,06	
6.8	89 HRB	99 HRB	600 N/mm <sup>2</sup>						
8.8	23 HRC	32 HRC	830 N/mm <sup>2</sup>	Aço-carbono com aditivos (Ex. B, Mn, ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,003
				Aço-carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
				Aço liga temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	
9.8	28 HRC	37 HRC	900 N/mm <sup>2</sup>	Aço-carbono com aditivos (Ex. B, Mn, ou Cr) temperado e revenido	0,15	0,40	0,025	0,025	0,003
				Aço-carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
				Aço liga temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	
10.9	32 HRC	39 HRC	1040 N/mm <sup>2</sup>	Aço-carbono com aditivos (Ex. B, Mn, ou Cr) temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	0,003
				Aço-carbono temperado e revenido	0,25	0,55	0,025	0,025	
				Aço liga temperado e revenido	0,20	0,55	0,025	0,025	
12.9	39 HRC	44 HRC	1220 N/mm <sup>2</sup>	Aço liga temperado e revenido	0,30	0,50	0,025	0,025	0,003

Fonte: Do autor, adaptado de ISO 898-1:2013 (2015).

Os parafusos polegada ou milimétricos, independente de qual é a classe de resistência a que pertencem, possuem especificações de composição química, dureza, resistência à tração, entre outras, que também devem ser atendidas.

## **3 METODOLOGIA**

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, será realizada uma abordagem dos materiais utilizados e dos métodos a serem empregados para desenvolvê-lo. Serão definidas etapas a serem executadas e de que forma cada uma será concretizada.

Será realizado o detalhamento do fluxo atual, a análise dos processos internos, a apresentação do projeto ao cliente e a verificação de viabilidade de execução do mesmo. Após a aprovação do projeto pela equipe de engenharia do cliente, é necessária a definição dos ensaios a serem realizados e a disponibilização de alguns cubos de roda já montados com o parafuso atual e de outros sem montagem, para a realização dos novos ensaios.

Além disso, serão definidos quais os parâmetros a serem atendidos pelas novas peças e deverá ser realizada a produção das amostras em condições definidas para a análise.

### **3.1 Materiais e métodos**

Este trabalho visa analisar os processos de fabricação do parafuso de roda já existentes na empresa, propondo melhorias em sua produção, mantendo os requisitos atuais necessários e atendendo às legislações aplicáveis. Portanto, em um primeiro momento, definem-se quais as atividades a serem realizadas para obter o resultado esperado.

Nesse sentido, primeiramente realizar-se-á o detalhamento do fluxo do processo atual de fabricação do parafuso de roda em análise. Na etapa seguinte, serão analisados os

processos de produção que a empresa possui atualmente (ainda não utilizados para a produção do parafuso analisado). O objetivo é melhorar o processo de produção do parafuso de roda através de uma possível alteração/ substituição de processo no fluxo de produção atual.

Paralelamente, neste mesmo período, será necessário buscar um canal de relacionamento com o cliente, com o intuito de levantar os requisitos necessários para a montagem do parafuso, os quais, obrigatoriamente, devem ser mantidos na alteração planejada.

Após a análise dos processos internos e a busca de especificações junto ao cliente, será necessário verificar cubos de roda montados com parafusos na condição atual, para conhecer todas as necessidades envolvidas para a implementação de um processo de fabricação alternativo, iniciando a produção de amostras de acordo com o novo fluxo de produção.

Terminada a produção das amostras na nova condição, com a alteração de processos conforme o novo fluxo definido, serão realizados os ensaios necessários para verificar a viabilidade de utilização das peças nesta nova condição. Após, serão realizadas as análises comparativas entre os ensaios realizados com as peças na condição atual de fornecimento (com o corpo retificado), e os ensaios realizados com as peças na nova condição, ou seja, com o fluxo de produção alterado.

Ao final desta etapa de análises entre os ensaios realizados com as peças atuais e os realizados com as peças produzidas de acordo com a nova sugestão de processo, também será verificado se há ganho de produtividade e redução no custo de produção a partir do novo fluxo de produção.

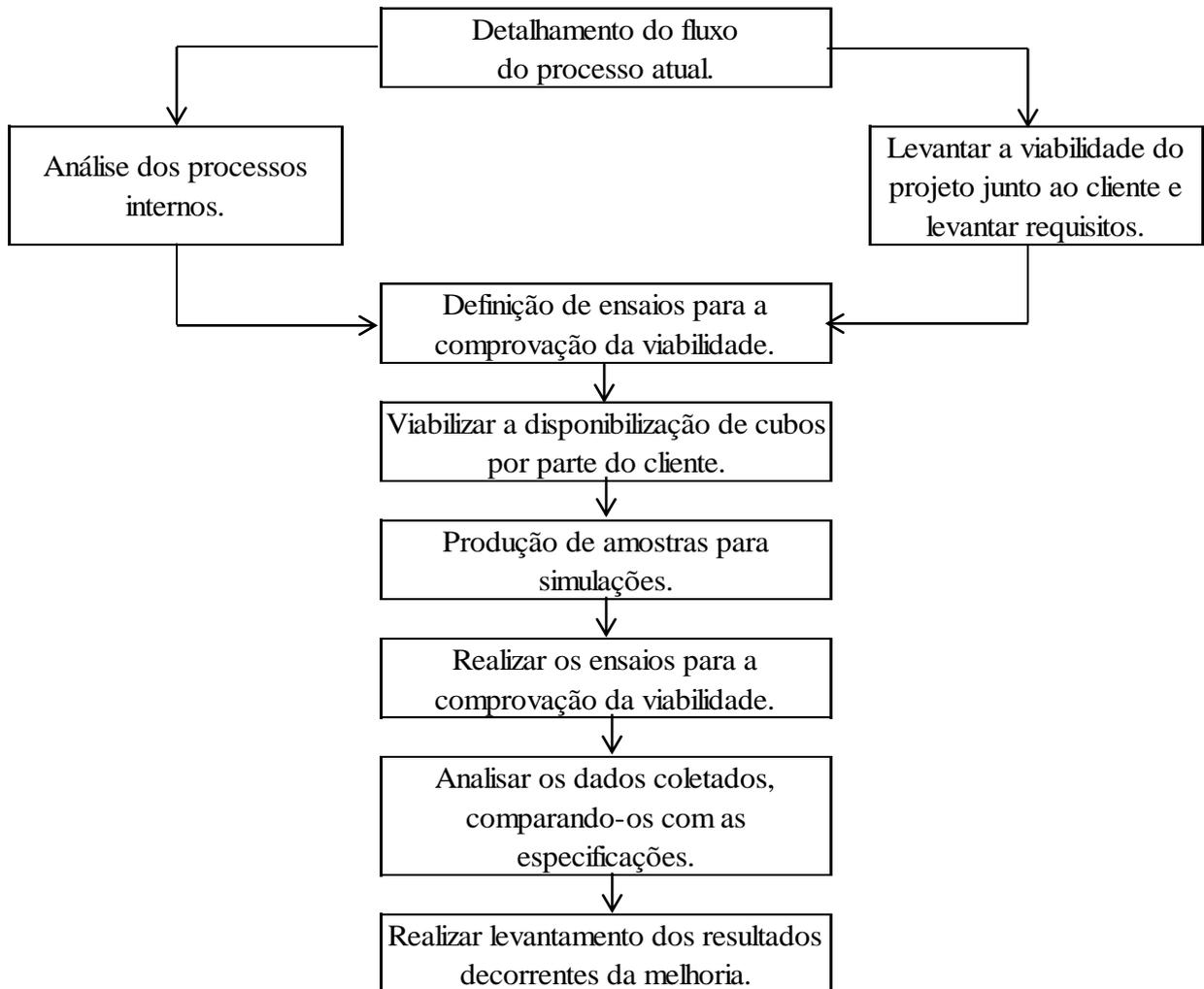
É importante frisar que, para uma melhor apresentação do presente trabalho, a análise dos resultados e as conclusões serão apresentadas no Capítulo 4, de forma distinta do presente capítulo.

Todas as etapas necessárias para a execução deste projeto são observadas no fluxograma a seguir (FIGURA 15). A ordem de execução será rigorosamente seguida, sem a possibilidade de uma etapa ser realizada sem que a anterior tenha sido concluída.

A única exceção está na análise dos processos internos atuais com o objetivo de alterar o fluxo de produção, juntamente com a busca de um contato com o cliente para apresentar o

projeto e obter os requisitos necessários para viabilizar a alteração do processo de produção do parafuso, etapas estas que podem ocorrer de forma paralela.

Figura 15 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho



Fonte: Do autor (2015).

### 3.1.1 Detalhamento do fluxo atual

O detalhamento do fluxo atual de produção consiste na descrição de cada etapa do fluxo de produção, desde a estampagem do parafuso de roda até a realização do tratamento térmico, última etapa do processo.

O parafuso objeto de análise do presente trabalho é um parafuso de roda, com corpo retificado. A principal máquina utilizada para produção deste parafuso é uma prensa Hyodong

HBPF-550 SSL, de cinco estágios, conforme a Figura 16, a qual possui a identificação interna de Célula 46.

Figura 16 – Prensa Hyodong HBPF-550 SSL



Fonte: Arquivo Metalúrgica Hassmann S.A (2011).

O primeiro estágio do fluxo de produção do parafuso nesta máquina, consiste no corte da matéria-prima (FIGURA 17), formando o tarugo que irá se transformar no parafuso.

Figura 17 – Peça produzida no primeiro estágio



Fonte: Do autor (2015).

No segundo estágio, é realizada uma redução, quase imperceptível, de forma a aumentar o diâmetro do tarugo próximo à região em que será conformada a cabeça do parafuso. Essa região, posteriormente, deverá ser retificada (FIGURA 18).

Figura 18 – Peça produzida no segundo estágio



Fonte: Do autor (2015).

No terceiro estágio, é realizada a conformação de uma região cônica, cujo objetivo é ajustar o material de tal forma que seja possível a conformação da cabeça do parafuso (FIGURA 19).

Figura 19 – Peça produzida no terceiro estágio



Fonte: Do autor (2015).

No quarto estágio, ocorre a conformação da cabeça do parafuso, já no diâmetro especificado em desenho (FIGURA 20).

Figura 20 – Peça produzida no quarto estágio



Fonte: Do autor (2015).

Por fim, no quinto estágio (que ocorre na prensa), é realizado o recorte da cabeça do parafuso (FIGURA 21).

Figura 21 – Peça produzida no quinto estágio



Fonte: Do autor (2015).

Durante a operação da prensa, a transferência das peças de um estágio para o outro ocorre de forma automatizada. A capacidade de estampagem é de aproximadamente sessenta peças por minuto.

Durante todo o processo de produção das peças na prensa, o operador realiza o controle dimensional das peças a serem produzidas e controla a alimentação da prensa com matéria-prima que se encontra em bobinas.

A etapa seguinte do fluxo de produção é a laminação da rosca. Esse processo é realizado em uma Laminadora Charng Guey CGR-810A, conforme Figura 22, que possui a capacidade de produzir em torno de setenta peças por minuto.

Figura 22 – Laminadora Charng Guey CGR-810A



Fonte: Adaptado do manual do fabricante (2010).

Esta laminadora possui um sistema de alimentação automatizado, no qual *containers* com peças são elevados até o compartimento de carga. De lá, elas são direcionadas para o canal de alimentação e alinhadas para a laminação da rosca propriamente dita.

Nesta máquina é realizada a laminação da rosca do parafuso (FIGURA 23), a qual irá prender a roda do caminhão ao cubo, mediante a montagem de uma porca. Neste caso específico, por se tratar de um parafuso milimétrico, a rosca do parafuso possui a bitola M18, com passo de rosca de 1,5 mm. Para fins de controle, são realizados testes qualitativos com Anel Calibrador P/NP, e testes quantitativos, com micrômetro de rosca.

Figura 23 – Peça após laminação da rosca



Detalhe da laminação da rosca.

Fonte: Do autor (2015).

Realizada a laminação da rosca do parafuso, a próxima etapa do fluxo de produção é o processo de tratamento térmico. Essa operação ocorre em linhas contínuas REX ITTC-E-1000 (FIGURA 24), com capacidade de processamento de 1.000 Kg/h.

Figura 24 – Linha de tratamento térmico REX ITTC-E-1000



Fonte: Arquivo Metalúrgica Hassmann S.A. (2012).

Nessa etapa, as peças passam por um processo de limpeza, por um forno de austenitização, por um tanque de têmpera, novamente por um tanque de limpeza, por um forno de revenimento e, finalmente, por um tanque de resfriamento.

Após o tratamento térmico, as peças possuem as propriedades mecânicas para a classe de resistência especificada. No caso do parafuso de roda, a classe de resistência é 10.9. Para ocorrer a liberação da peça, ela deve atender às especificações constantes na ISO 898-1:2013.

Os principais controles realizados nessa etapa do processo de produção são ensaios de dureza, em escala Rockwell C, e também ensaios de resistência à tração. Os equipamentos utilizados nestas análises são o durômetro e a MUEM (Máquina Universal de Ensaio Mecânico).

Após o processo de tratamento térmico, as peças são encaminhadas para a realização do processo de retificação do corpo, em uma Retificadora Centerless, modelo BOVI-RC40 (FIGURA 25).

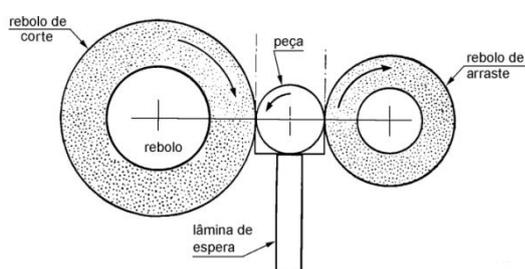
Figura 25 – Retificadora Centerless BOVI-RC40



Fonte: Adaptado do manual do fabricante (2014).

O processo de retificação do corpo consiste em introduzir o parafuso sobre uma base de apoio (lâmina de espera) entre dois rebolos – um rebolo de corte e outro rebolo de arraste – que vão girando em um mesmo sentido (FIGURA 26). Enquanto o rebolo de arraste gira em uma velocidade baixa, com a finalidade de girar a peça – no caso, o parafuso –, o rebolo de corte, que é abrasivo, gira em uma velocidade elevada e realiza a remoção do material do corpo do parafuso, de modo a deixar suas dimensões conforme os limites dimensionais especificados.

Figura 26 – Operação na retificadora Centerless



Fonte: Do autor, adaptado de Secco, Filho e Oliveira (2000).

O processo de produção dessa característica em específico (FIGURA 27) ocorre de forma manual, a uma velocidade de operação considerada baixa – aproximadamente doze peças por minuto – e é muito influenciado pela forma como o operador trabalha.

Figura 27 – Peça após retificação do corpo



Detalhe do corpo retificado.

Fonte: Do autor (2015).

Essa é a principal característica de montagem deste parafuso na contrapeça, visto que, quando a dimensão do parafuso produzido estiver abaixo do especificado, ele não ficará cravado no furo. Por outro lado, quando sua dimensão estiver acima do especificado, não será possível realizar o cravamento do parafuso na contrapeça.

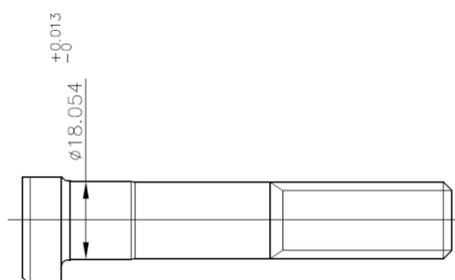
Além disso, considerando a segurança durante a operação da máquina, percebe-se que existe um risco considerável de acidentes de trabalho, visto que o operador introduz o parafuso entre os dois rebolos de forma manual. Existe a possibilidade de o operador encostar

no rebolo de corte, o qual gira à uma velocidade bastante elevada. Esse procedimento é considerado inadequado, segundo as exigências da NR-12.

A automação desse processo já foi considerada, entretanto, mesmo com o investimento a ser realizado, não seria possível aumentar consideravelmente a capacidade de produção desta máquina.

O processo de retificação do parafuso em análise é bastante complexo, em virtude da faixa restrita de especificação, que é de apenas 0,013 mm, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28 – Especificação atual do parafuso analisado



Fonte: Adaptado do desenho do cliente (2015).

Esta faixa restrita de especificação – 18,054 a 18,067 mm – precisa ser obedecida. Ela é fundamental para a montagem do parafuso no cubo de roda de forma que ele fique cravado no mesmo, sem se soltar durante a sua utilização em campo.

### 3.1.2 Análise dos processos internos

Analisando os processos internos atuais que a empresa possui e comparando com o processo de produção atual do parafuso, existem poucas possibilidades de realizar alterações no fluxo do processo capazes de melhorar a produção da peça.

Pode-se observar o mesmo quando analisadas melhorias relacionadas aos aspectos de ergonomia e segurança do trabalho, em virtude de a prensa, a laminadora de rosca e a linha de tratamento térmico já estarem adequadas a NR-12.

Isso ocorre nas duas análises realizadas, pois as máquinas e equipamentos utilizados nas operações são bastante modernos, e já são projetados buscando ganhos de produtividade, além de seguirem todos os requisitos necessários quanto à ergonomia e à segurança.

Nessa análise, a única alteração viável a ser realizada está na exclusão do processo de retificação do fluxo de produção do item, alterando a característica de corpo retificado para corpo recartilhado, que é condição comum de fornecimento de parafusos de roda.

Essa alteração se justifica pelo fato de praticamente todos os parafusos de roda produzidos pela MH serem do tipo recartilhado, com exceção do parafuso em análise, de corpo retificado. Além disso, a característica funcional do corpo retificado do parafuso é a mesma do corpo recartilhado.

Para melhorar o processo de fabricação do parafuso de roda, é proposta essa alteração principalmente devido à diferença na velocidade e no tempo de operação entre as duas atividades (retificar e recartilhar): o processo de laminação do recartilho no corpo de parafuso possui uma produtividade bem superior ao processo de retificação do seu corpo.

Outra melhoria é que a peça estará sendo produzida de forma mais segura (para os operadores) e em uma máquina adequada a NR-12. A possibilidade de problemas dimensionais que impossibilitem a montagem do parafuso na contrapeça é praticamente inexistente, visto que a tolerância nas dimensões dos parafusos de roda recartilhados é maior.

Considerando a execução desse novo processo no fluxo do item, ele pode ser realizado na Laminadora Charng Guey CGR-810A (FIGURA 22), cuja capacidade de produção é de aproximadamente sessenta peças por minuto.

### **3.1.3 Viabilidade do projeto junto ao cliente**

Em paralelo à análise dos processos internos, buscou-se a abertura de um canal de comunicação junto ao cliente. O objetivo desse canal de comunicação foi buscar a viabilidade da alteração do fluxo de produção do parafuso analisado para um novo fluxo, além de obter os requisitos necessários para a montagem do parafuso. Esses requisitos, obrigatoriamente, devem ser mantidos em uma possível alteração, pois é necessária a homologação da nova característica construtiva.

Além disso, foram buscadas maiores informações sobre o processo de montagem dos parafusos no cubo de roda. Foi possível obter a informação de que é utilizada uma prensa hidráulica do fabricante Hidrodinâmica (FIGURA 29) nesse processo. Um pistão realiza o

cravamento do parafuso no cubo de roda sempre em uma única posição. Também existe um dispositivo que realiza o avanço do cubo ao redor de seu eixo até a posição do furo seguinte, para então realizar o cravamento do próximo parafuso no cubo. Entretanto, essa última característica não tem relação com a presente análise.

Figura 29 – Prensa hidráulica onde o parafuso é montado no cubo



Fonte: Arquivo do cliente (2015).

Informações específicas de *setup* e operação das prensas, tais como a pressão utilizada no processo de montagem, a capacidade de pressão máxima disponível, entre outras, por serem consideradas informações de sigilo industrial por parte do cliente, não foram obtidas.

Como não foi disponibilizado o valor da pressão máxima de trabalho da prensa hidráulica, por solicitação do próprio cliente, deverá ser considerado como parâmetro para o novo parafuso um valor de força máxima de cravamento igual ou preferencialmente menor do que o valor encontrado para o parafuso retificado. A força de extração do parafuso deve ser igual ou superior ao valor encontrado para o parafuso retificado.

Considerando aceita a viabilidade da proposta de alteração do fluxo, também foram definidos quais os ensaios a serem realizados para a validação da alteração. Como não existe um plano de qualificação para o parafuso em análise, que já contempla as exigências do

cliente, elaborou-se uma lista mestra com os ensaios que serão realizados e que foram julgados importantes para a validação da alteração.

Entre os ensaios a serem realizados, foram definidos ensaios de força necessária para o cravamento dos parafusos no cubo e ensaios de força necessária para realizar a extração dos parafusos do cubo.

### 3.1.4 Realização de ensaios

Tanto os ensaios de cravamento, como o ensaio de extração dos parafusos – atuais e também na nova configuração – serão realizados no laboratório interno da Metalúrgica Hassmann S.A., em um dispositivo montado na MUEM (FIGURA 30). Esta máquina é da marca Wolpert, e capacidade de 600 kN.

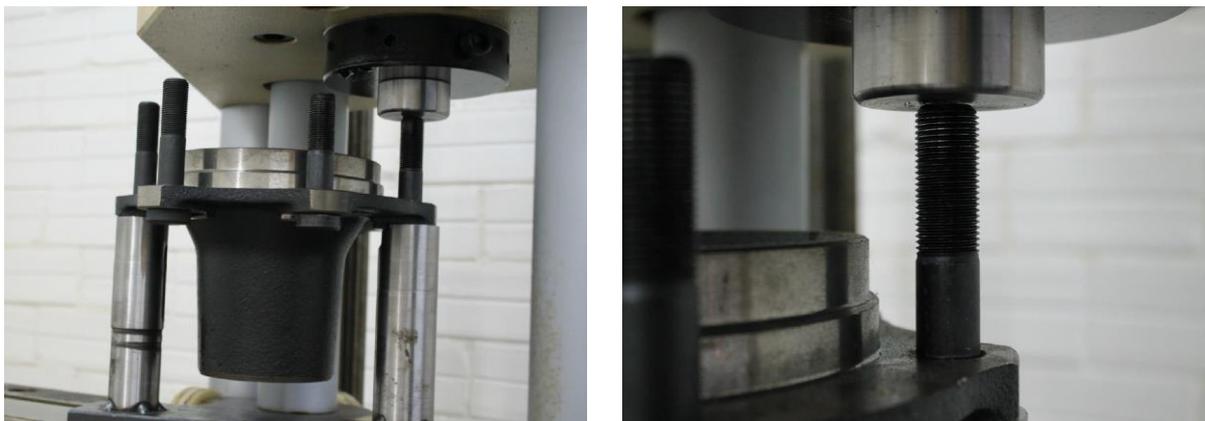
Figura 30 – MUEM



Fonte: Arquivo Metalúrgica Hassmann S.A (2010).

Para a realização dos ensaios nos parafusos, deve ser realizada uma adaptação na parte superior da MUEM, de forma que seja possível realizar o cravamento e a extração (FIGURA 31) de forma individual, para cada um dos parafusos.

Figura 31 – Ensaio de extração do parafuso



Fonte: Do autor (2015).

### 3.1.5 Disponibilização de cubos de roda para análise

Para que fosse possível a realização dos ensaios e o levantamento das especificações a serem atendidas, viabilizou-se a disponibilização de cubos de roda (FIGURA 32) por parte do cliente.

Figura 32 – Cubo de roda onde o parafuso é montado



Fonte: Do autor (2015).

Dessa forma, definiu-se a necessidade de obter cubos já montados com os parafusos na condição atual de fornecimento (retificado), além da necessidade da disponibilização de cubos sem montagem, para que seja possível realizar os ensaios de montagem e extração dos parafusos de diferentes diâmetros na nova condição.

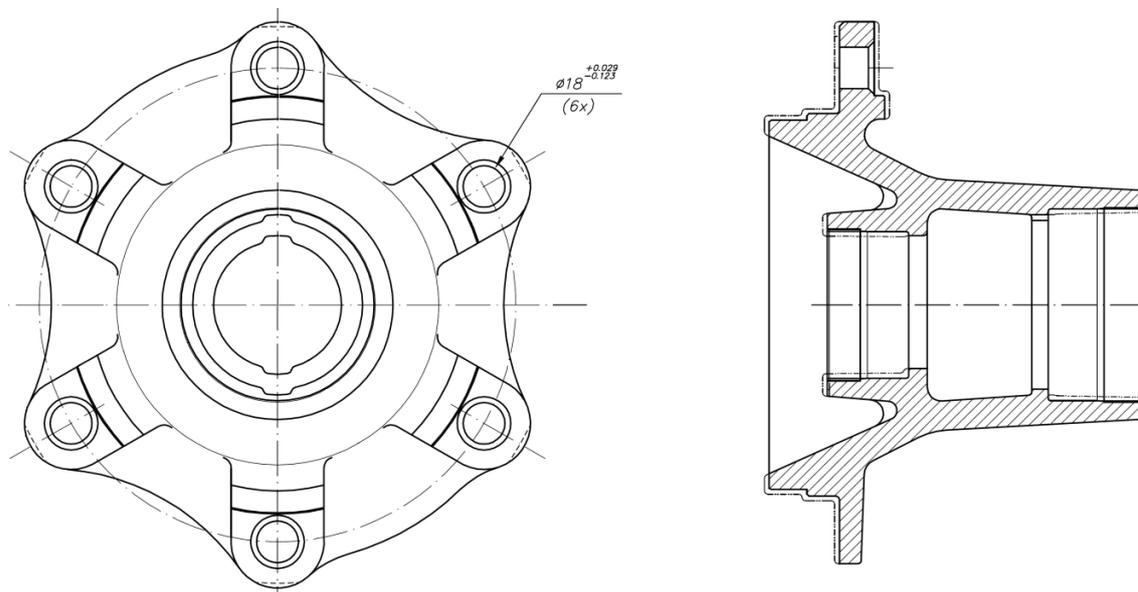
Nesses cubos, foram realizados os ensaios definidos na etapa anterior, ou seja, ensaios de força necessária para o cravamento dos parafusos no cubo, e também ensaios de força necessária para extraí-los do cubo de roda.

Outro objetivo a ser atingido com a disponibilização dos cubos de roda foi obter a especificação dimensional do próprio cubo, principalmente o diâmetro do furo em que o parafuso é montado.

Para alcançar este objetivo, o departamento de engenharia do cliente disponibilizou o desenho do cubo de roda em que os parafusos são montados, com as devidas especificações materiais e dimensionais. Neste sentido, foi possível identificar que o material do cubo de roda é ferro fundido nodular.

Já a especificação dimensional do furo onde o parafuso é cravado é  $18,00 - 0,123/+0,029$  mm, ou seja, 17,877 mm a 18,029 mm. A Figura 33 apresenta no detalhe a especificação dos seis furos do cubo de roda, onde o parafuso em estudo é montado.

Figura 33 – Especificação do cubo de roda



Fonte: Do autor, adaptado do desenho do cliente (2015).

Mesmo o cliente especificando uma variação de 0,15 mm entre o limite inferior e o limite superior de especificação do furo – 17,877 mm a 18,029 mm – para o processo de produção, existe uma restrição na especificação, de modo que o diâmetro do furo seja produzido de 17,98 a 18,00 mm.

### 3.1.6 Definição dos parâmetros a serem atendidos

Conforme já descrito no item 3.1.3, devido ao fato de não existir um plano de qualificação com as características a serem consideradas para a avaliação da nova condição dos parafusos, foram definidos ensaios de força necessária para o cravamento dos parafusos no cubo e ensaios de força necessária para realizar a extração dos parafusos do cubo, a fim de definir os parâmetros a serem atendidos pela nova configuração.

Dessa forma, para a obtenção da força de cravamento necessária para a montagem do parafuso atual, foram utilizados dois cubos de roda novos (sem utilização) e realizou-se o cravamento de parafusos retificados para obter o valor da força de montagem necessária. Os valores encontrados nesses ensaios podem ser observados no Quadro 6.

Já para a obtenção dos valores da força de extração necessária para a remoção dos parafusos de dentro do cubo de rodas, utilizaram-se dois cubos recebidos do cliente, montados em sua própria linha de montagem. Os valores encontrados nesses ensaios também podem ser observados no Quadro 6.

Quadro 6 – Força de montagem e força de extração do parafuso atual - retificado

<b>Parafuso Atual - Retificado</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Força de Montagem (kN)</b>	<b>Força de Extração (kN)</b>
1	19,3	14,9
2	16,7	13,7
3	18,4	14,5
4	19,2	14,6
5	18,5	16,2
6	18,8	15,1
7	17,6	14,5
8	18,4	15,8
9	18,0	13,9
10	18,2	15,9
11	17,7	15,4
12	18,8	13,5
<b>Média</b>	<b>18,3</b>	<b>14,8</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>

Fonte: Do autor (2015).

### 3.1.7 Produção de amostras conforme novo processo

A partir do novo processo, serão produzidas peças em condições variadas, para que possa ser realizada uma análise mais ampla. Em outras palavras, será possível verificar se uma peça deve ser maior ou menor em determinada característica para atender aos requisitos desejados em cada um dos dois tipos de ensaios a serem realizados – força necessária para o cravamento dos parafusos no cubo e força necessária para realizar a extração dos parafusos do cubo.

Nesta análise, serão produzidas amostras com três passos diferentes de recartilhados – passo 1,0 mm, passo 1,2 mm e passo 1,6 mm – todos no formato RAA (recartilhado paralelo), conforme especificações contidas na NBR 14957:2003, visto que são os passos mais comuns produzidos atualmente pela MH em parafusos de roda recartilhados.

A Figura 34 mostra no detalhe o parafuso produzido conforme o novo processo (com o corpo recartilhado).

Figura 34 – Peça com corpo recartilhado



Fonte: Do autor (2015).

Além de serem utilizados passos diferentes, também serão utilizados três diâmetros diferentes para cada passo – 18,15 a 18,20 mm, 18,22 a 18,27 mm e 18,30 a 18,35 mm – de forma a analisar qual será o modelo que melhor atenderá às necessidades do cliente (quando comparado à condição de fornecimento e montagem atual).

## **4 RESULTADOS DOS ENSAIOS**

Este capítulo apresenta e analisa os resultados dos ensaios realizados com os diferentes tipos de amostras que foram produzidas. Nesse sentido, serão apresentados três quadros, divididos conforme o passo do recartilho do item que foi produzido.

Em cada um dos quadros, também serão apresentados valores conforme o diâmetro externo dos recartilhos produzidos – 18,15 a 18,20 mm, 18,22 a 18,27 mm e 18,30 a 18,35 mm.

### **4.1 Apresentação dos resultados**

Durante a realização dos ensaios de cravamento dos parafusos no cubo de roda e de extração deles, conforme definido nos itens 3.13 e 3.14, foram registrados os valores encontrados para cada um dos parafusos testados.

Foram testados doze parafusos em cada uma das situações, ou seja, foram testados três passos de recartilho diferentes, cada passo foi testado com três dimensionais diferentes e foram testados dezoito cubos de roda, totalizando assim 108 parafusos.

O Quadro 7 apresenta os resultados encontrados nos ensaios realizados com as amostras de parafusos que foram produzidas com passo de recartilho de 1,0 mm, e com os três diâmetros diferentes.

Quadro 7: Resultados de montagem e extração do parafuso com recartilho de passo 1,0 mm

Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,15/18,20			Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,22/18,27			Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,30/18,35		
Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)	Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)	Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)
1	14,2	13,7	1	14,3	14,8	1	24,1	25,2
2	12,8	15,1	2	14,5	17,1	2	24,8	24,7
3	12,3	14,7	3	15,3	14,9	3	23,5	27,5
4	12,9	14,1	4	13,9	15,2	4	24,7	26,1
5	13,3	13,8	5	14,6	16,8	5	22,4	26,9
6	13,6	13,5	6	13,6	14,8	6	23,9	25,2
7	12,9	14,1	7	13,2	15,8	7	23,6	25,8
8	13,6	15,6	8	14,4	16,3	8	24,5	27,2
9	13,8	14,0	9	13,9	15,2	9	25,2	25,7
10	12,6	13,8	10	14,6	14,5	10	24,3	25,2
11	13,4	15,2	11	13,8	16,2	11	23,6	25,8
12	13,5	16,6	12	14,8	15,1	12	24,8	25,0
<b>Média</b>	<b>13,2</b>	<b>14,5</b>	<b>Média</b>	<b>14,2</b>	<b>15,6</b>	<b>Média</b>	<b>24,1</b>	<b>25,9</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>

Fonte: Do autor (2015).

Da mesma forma, foram realizados os ensaios de montagem e extração com parafusos com passo de recartilho de 1,2 mm, conforme apresentado no Quadro 8. Os resultados também são apresentados conforme o diâmetro das amostras que foram produzidas.

Quadro 8: Resultados de montagem e extração do parafuso com recartilho de passo 1,2 mm

Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,15/18,20			Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,22/18,27			Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,30/18,35		
Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)	Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)	Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)
1	12,1	13,3	1	13,1	15,1	1	25,2	24,3
2	12,8	14,7	2	12,4	13,6	2	24,1	24,7
3	12,5	13,0	3	12,9	14,6	3	22,4	24,4
4	12,8	12,7	4	12,8	13,3	4	22,8	26,7
5	12,1	13,3	5	13,3	13,5	5	24,1	26,1
6	12,6	14,3	6	11,8	14,2	6	23,9	26,7
7	12,7	15,6	7	12,2	13,3	7	23,8	26,3
8	13,0	13,2	8	12,5	13,6	8	23,6	24,4
9	13,3	12,9	9	12,5	14,5	9	24,4	24,9
10	12,0	14,2	10	13,1	13,0	10	21,8	26,1
11	11,8	13,0	11	13,7	13,2	11	22,9	25,1
12	11,6	13,8	12	13,0	15,7	12	22,9	25,1
<b>Média</b>	<b>12,4</b>	<b>13,7</b>	<b>Média</b>	<b>12,8</b>	<b>14,0</b>	<b>Média</b>	<b>23,5</b>	<b>25,4</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>

Fonte: Do autor (2015).

Para finalizar, também foram realizados os ensaios de montagem e extração de parafusos recartilhados com passo de 1,6 mm. Como nos casos anteriores, foram testados trinta e seis parafusos, doze parafusos em cada faixa de diâmetro, ou seja, entre 18,15 a 18,20 mm, entre 18,22 a 18,27 mm e entre 18,30 a 18,35 mm. Os resultados encontrados são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9: Resultados de montagem e extração do parafuso com recartilho de passo 1,6 mm

Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,15/18,20			Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,22/18,27			Parafuso Proposto Ø Recartilhado - 18,30/18,35		
Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)	Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)	Amostra	Força de Montagem (kN)	Força de Extração (kN)
1	10,6	11,6	1	12,2	11,8	1	21,9	24,5
2	11,4	11,3	2	11,7	13,4	2	20,9	22,8
3	10,3	12,3	3	10,6	12,6	3	21,9	23,2
4	10,8	11,8	4	11,1	12,2	4	21,6	22,7
5	11,4	13,1	5	11,0	13,0	5	20,2	23,7
6	11,6	11,8	6	11,8	12,1	6	20,9	22,8
7	10,8	12,7	7	11,1	12,2	7	20,7	24,3
8	11,9	11,5	8	11,4	11,8	8	22,2	22,7
9	11,3	12,8	9	11,7	11,6	9	21,5	22,2
10	10,8	11,8	10	11,5	13,0	10	21,8	24,1
11	11,2	11,6	11	10,9	11,8	11	20,7	22,2
12	11,3	13,9	12	11,6	14,3	12	22,0	22,1
<b>Média</b>	<b>11,1</b>	<b>12,2</b>	<b>Média</b>	<b>11,4</b>	<b>12,5</b>	<b>Média</b>	<b>21,4</b>	<b>23,1</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>

Fonte: Do autor (2015).

## 4.2 Análise dos resultados da alteração

A partir das considerações realizadas no item 3.1.3, segundo as quais os valores de força de cravamento para os parafusos de roda recartilhados deveriam ser menores ou iguais aos valores encontrados para o parafuso retificado, e os valores de força de extração deveriam ser iguais ou maiores que os encontrados para o parafuso retificado, é possível realizar uma análise dos resultados encontrados em cada uma das situações ensaiadas.

De forma geral, os parafusos produzidos com diâmetro externo de recartilho entre 18,30 e 18,35 mm, para os três passos testados – 1,0 mm, 1,2 mm e 1,6 mm – apresentaram

resultados de força de extração mais elevados, superiores às condições apresentadas pelo parafuso de corpo retificado.

Entretanto, como um dos requisitos a ser atendido é a força de montagem do novo parafuso não superar o valor da força de montagem do parafuso com corpo retificado, nenhuma das opções testadas é viável.

Realizando a mesma análise com os parafusos produzidos com o dimensional do diâmetro externo do recartilho entre 18,15 e 18,20 mm, percebe-se que os valores encontrados para a força de montagem ficaram abaixo dos valores encontrados para o parafuso de corpo retificado.

Já os valores da força de extração encontrados para estes parafusos também ficaram ligeiramente abaixo dos valores encontrados para o parafuso inicialmente analisado, motivo pelo qual esta condição também não é viável para realizar a substituição do parafuso retificado pelo recartilhado.

Por fim, analisando os valores encontrados para os parafusos produzidos com dimensional do diâmetro externo do recartilho entre 18,22 e 18,27 mm, e comparando-os com os valores iniciais obtidos com os parafusos retificados, é possível afirmar que para as peças com passo do recartilho de 1,2 mm e de 1,6 mm, tanto os valores da força de montagem, quanto os valores da força de extração ficaram abaixo dos valores obtidos para o parafuso retificado.

Deve-se considerar também que as diferenças de valores encontradas nos ensaios dos parafusos de uma mesma faixa dimensional e mesmo passo de recartilho, ocorre em função da distribuição, tanto dos furos do cubo de roda, como o diâmetro externo do recartilho ter abrangência de toda a faixa de tolerância especificada. Além disso, condições de rugosidade – tanto do parafuso como do cubo de roda – também podem contribuir para variações nos resultados.

Já os parafusos produzidos com dimensional do recartilho entre 18,22 e 18,27 mm, e com passo de 1,0 mm, apresentaram valores de montagem inferiores aos apresentados pelas peças de corpo retificado, e uma força de extração ligeiramente superior, fazendo com que sejam atendidos os parâmetros definidos junto ao cliente para que a alteração do processo possa ser efetivada.

É importante frisar que as análises foram realizadas com base nos valores médios encontrados nos ensaios, sempre realizados em doze parafusos, considerando as mesmas especificações. Os valores médios eram comparados aos encontrados nos ensaios realizados com as peças de corpo retificado.

## 5 CONCLUSÃO

As exigências às quais as empresas estão expostas nos dias atuais são das mais variadas ordens: requisitos por parte dos clientes, busca pela melhoria dos processos internos, e até regulamentações normativas por parte do governo, na forma de leis.

Entre essas exigências está a NR-12, por meio da qual são definidas “referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores”, estabelecendo requisitos mínimos para a prevenção de acidentes.

Nesse sentido, pelo fato de um equipamento utilizado na produção de um determinado produto – parafuso de roda – não estar adequado a esta normativa, e por existir o desejo de retirar de operação esse equipamento, buscaram-se alternativas que viabilizassem a continuidade do fornecimento do produto, utilizando outros processos de fabricação.

Assim, esta monografia ocupou-se em apresentar, no primeiro capítulo do desenvolvimento, uma breve análise bibliográfica sobre as principais formas de uniões, focando especificamente nas uniões por parafusos. Entre os tipos de uniões, foram descritos os principais tipos de parafusos utilizados e algumas de suas características. Entre os tipos de parafusos de roda, apresentaram-se os tipos existentes e as principais características dos mesmos.

Na sequência, foi realizado um levantamento detalhado do fluxo de produção atual do parafuso de roda em análise, de modo a permitir a identificação de possíveis processos do fluxo de produção que possam ser alterados. Essa análise já contempla o primeiro objetivo

específico do presente trabalho, de modo que a operação de retificação do corpo foi identificada como a operação a ser alterada, visto que as outras etapas de produção do item ocorrem em equipamentos já adequados a NR-12.

Após, contemplando o segundo objetivo específico do trabalho, foi avaliada a viabilidade de implementação de outros processos já disponíveis na empresa, para a produção do mesmo parafuso. Nessa análise, identificou-se a possibilidade de realizar a laminação do recartilho no corpo do parafuso, ao invés de realizar a retificação do mesmo.

Em paralelo, como o projeto do parafuso original não é da MH, mas sim do cliente, buscaram-se maiores informações sobre o mesmo, principalmente sobre parâmetros de montagem e características atendidas pelo parafuso na condição atual, para determinar os ensaios e as exigências a serem atendidas na nova condição.

Após a obtenção dessas informações, foram produzidas amostras em diferentes condições (passo de recartilho e diâmetro), para então realizar os ensaios definidos anteriormente.

Obtidos os resultados dos ensaios realizados com os parafusos de corpo recartilhado e realizando a comparação com os resultados obtidos a partir dos ensaios com as peças de corpo retificado, observou-se que os parafusos produzidos com diâmetro de recartilho entre 18,22 e 18,27 mm, e com passo de 1,0 mm, apresentaram valores de montagem (14,3 kN) inferiores aos das peças de corpo retificado (18,3 kN), e uma força de extração ligeiramente superior (15,6 kN) ao valor inicial (14,8 kN), fazendo com que sejam atendidos os parâmetros definidos junto com o cliente para que a alteração do processo possa ser efetivada.

É possível observar também que o desvio padrão dos valores encontrados nas peças com corpo recartilhado é menor ou igual ao desvio padrão dos valores encontrados nas peças com corpo retificado, para os dois ensaios realizados.

Também é importante frisar que, levando em consideração a produtividade, (no processo de retificação era de doze peças por minuto, e no novo processo proposto – laminação do recartilho – passou para setenta peças por minuto), ocorreu um aumento de 5,8 vezes na quantidade de peças produzidas por minuto. Assim é possível afirmar que ocorreu um ganho econômico com a alteração realizada.

Com base nos resultados obtidos, durante os ensaios realizados, conclui-se que a modificação realizada possui viabilidade técnica e econômica, podendo ser implementada na produção do parafuso de roda, que antes era retificado e passa a ser laminado (recartilhado). Assim, o presente estudo serviu como base para propor a implementação de um novo processo de fabricação. O parafuso de roda recartilhado, por sua vez, mantém características de montagem similares às dos parafusos retificados, exigência que também foi atendida de forma satisfatória.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACUMENT. **TORX®/TORX PLUS®**. Acument Global Technologies. Michigan, 2015. Disponível em: <<http://www.acument.com/>>. Acesso em: 10 set. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14957**: Desenho técnico – Representação de recartilhado. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B1.1**: Unified Inch Screw Threads, (UN and UNR Thread Form). New York: ASME, 2003.

BARBOSA, João P. **Elementos de máquina**. São Mateus: 2011. Disponível em: <[ftp://ftp.ifes.edu.br/Campus/SaoMateus/Coordenadorias/Mecanica/Professores/joaopb/Apostila\\_Elementos\\_2011.pdf](ftp://ftp.ifes.edu.br/Campus/SaoMateus/Coordenadorias/Mecanica/Professores/joaopb/Apostila_Elementos_2011.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora Nº 12**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-12-span-class-destaque-novo-span.htm>>. Acesso em: 23 set. 2015.

BRITISH STANDARD. **BS 84**: Specification for parallel screw threads of Whitworth form. London: BSI, 2007.

CENNABRAS. **Soldas para brasagem**. Disponível em: <<http://www.cennabras.com.br/produtos/>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

CHARNG GUEY. Charng Guey CGR-810A. Tainan City, 2010.

CONNOLLY, Kevin. **Technical library**: Earnest Itentionally Better. Rocky River: 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 13-21**: ISO general purpose metric screw threads - Part 21: Limits of sizes for fine pitch threads with the preferred tolerance classes; Nominal diameter from 1 mm to 24,5 mm. Berlin: DIN, 2005.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 82**: Knurls. Berlin: DIN,1973.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 34800**: Bolts and screws with external hexalobular driving feature with small flange. Berlin: DIN, 2005.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **UNI8954**: Viti a testa cilindrica con collarino scanalato per accoppiamento stabile. Filettatura metrica ISO a passo grosso o a passo fine. Categoria A. Milano: UNI, 1987. Disponível em: <[http://www.spsp.gov.cn/DataCenter/Standard/PDFView.aspx?ca=TFyT9NRLKfA=&Token=\\$Token\\$&First=First](http://www.spsp.gov.cn/DataCenter/Standard/PDFView.aspx?ca=TFyT9NRLKfA=&Token=$Token$&First=First)>. Acesso em: 21 mai. 2015.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2012.

FONTANA GRUPPO. **Technical catalogue**: special products. Veduggio con Colzano: Fontana, 2004.

FRANCESCHI, Alessandro de; ANTONELLO, Miguel G. **Elementos de máquinas**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2014.

GORDO, Nívia; FERREIRA, Joel. **Elementos de máquinas 1**. Telecurso 2000 profissionalizante. Módulos Especiais Mecânica. São Paulo: Escola SENAI “Hessel Horácio Cherkassky”. Departamento Regional de São Paulo, 2000.

IMPLEMAC CENTERLESS. Implemac - Implementos e Máquinas Ind. e Com. LTDA. Versão 1.1. São Carlos, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 898-1**: Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread. Geneva: ISO, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4014**: Hexagon head bolts - Product grades A and B. Geneva: ISO, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4162**: Hexagon bolts with flange - Small series - Product grade A with driving feature of product grade B. Geneva: ISO, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4762**: Hexagon socket head cap screws. Geneva: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8678**: Cup head square neck bolts with small head and short neck - Product grade B. Geneva: ISO, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14579**: Hexalobular socket head cap screws. Geneva: ISO, 2011.

LUCCHINI, Anne; ESCORSIM, Sérgio; RECHE, Fernanda. **Pequenos problemas, grandes impactos**: o caso de uma empresa do setor de produção de resinas. In: 4º CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO, Ponta Grossa, 2007. Disponível em: <[http://ri.uepg.br:8080/riuepg/bitstream/handle/123456789/768/EVENTO\\_Pequenos%20problemas%20grandes%20impactos%20O%20caso%20de%20uma%20empresa%20do.pdf?sequence=1](http://ri.uepg.br:8080/riuepg/bitstream/handle/123456789/768/EVENTO_Pequenos%20problemas%20grandes%20impactos%20O%20caso%20de%20uma%20empresa%20do.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 27 jul. 2015.

MACHADO, Ivan G. **Soldagem e técnicas conexas**: processos. Porto Alegre: o Autor, 1996.

MARQUES, Paulo V.; MODENESI, Paulo J.; BRACARENSE, Alexandre Q. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. 3. ed. atual. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2011.

METALÚRGICA HASSMANN S.A. **Catálogo técnico de produtos**. Imigrante: Hassmann, 2012.

NIEMANN, Gustav. **Elementos de máquinas**. Tradução de Carlos Van Langendonck e Otto Alfredo Rehder. São Paulo: Edgard Blücher, 1971.

PROVENZA, Francesco. **Tolerâncias ISO (International Standartion Organization)**. São Paulo: Provenza, [1976].

MILATIAS, Sergio. **Como surgiu o parafuso**. São Bernardo do Campo: Editora Milatias, n. 1, 30 dez. 2006. Disponível em: <<http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=298>>. Acesso em: 21 mar. 2015.

MONTEIRO, Carlos F. E. **Sistemas especialistas: projeto de parafusos de união**. 2014. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, jan.2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010231.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE J429: Mechanical and Material Requirements for Externally Threaded Fasteners**. Warrendale: SAE, 2014.

SCHAEFFER, Lírio. **Conformação mecânica**. 2 ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.

SCHAEFFER, Lírio. **Forjamento: introdução ao processo**. 1 ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2001.

SECCO, Adriano R.; FILHO, Dario do A.; OLIVEIRA, Nelson C. de. **Processos de fabricação III**. Telecurso 2000 profissionalizante. Módulos Especiais Mecânica. São Paulo : Escola SENAI “Hessel Horácio Cherkassky”. Departamento Regional de São Paulo, 2000.

SOUZA, Manuel F. S.; MOORI, Roberto G.; MARCONDES , Reynaldo C. **Sincronização das Expectativas dos Clientes com a Prática dos Fornecedores Quanto a Custos, Confiabilidade e Qualidade**. 2003. Disponível em: <[http://www.anpad.org.br/diversos/trabalhos/EnANPAD/enanpad\\_2003/GOL/2003\\_GOL976.pdf](http://www.anpad.org.br/diversos/trabalhos/EnANPAD/enanpad_2003/GOL/2003_GOL976.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2015.

UNIWELD. **Fluxos para brasagem**. Disponível em: <<http://www.soldaeleetrodo.com.br/fluxos-para-brasagem.asp>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

USINASINFO. **Ferro de solda**. Disponível em: <<http://www.usinainfo.com.br/ferro-de-solda-117>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sergio D.; MELLO, Fábio D. H. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

ZILLI, Carlos A. **Desenvolvimento de um modelo de melhoria de processos e projetos com base no gerenciamento dos custos da qualidade em um ambiente de gestão por atividades**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, mar.2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86101/193218.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 jul. 2015.