

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

**EVERTON SCHONTZ MORAES**

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM APLICADOS NA  
FABRICAÇÃO DA SAPATA DE FREIO**

**CAXIAS DO SUL**

**2014**

**EVERTON SCHONTZ MORAES**

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM APLICADOS NA  
FABRICAÇÃO DA SAPATA DE FREIO**

Trabalho de conclusão de curso II apresentado  
a Universidade de Caxias do Sul para obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.

Área de concentração: Engenharia Mecânica

Supervisor: Professor MSc. Victor Hugo  
Velazquez Acosta

**CAXIAS DO SUL**


**2014**

**EVERTON SCHONTZ MORAES**

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM APLICADOS NA  
FABRICAÇÃO DA SAPATA DE FREIO**

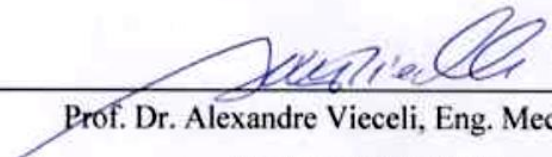
Trabalho de conclusão de curso II apresentado  
a Universidade de Caxias do Sul para obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.  
Área de concentração: Engenharia Mecânica

**Banca Examinadora**



---

Prof. Victor Hugo Velazquez Acosta, MSc. Eng. Metalúrgica  
Supervisor de Estágio



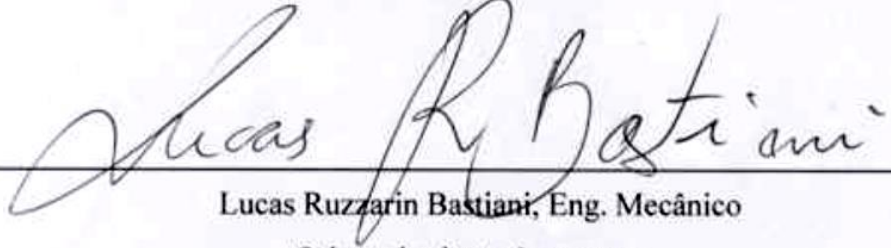
---

Prof. Dr. Alexandre Vieceli, Eng. Mecânica  
Professor Convidado



---

Prof. Vagner Grison, MSc. Eng. Mecânica  
Professor Convidado



---

Lucas Ruzzarin Bastiani, Eng. Mecânico  
Orientador junto à empresa

## RESUMO

Este trabalho surgiu da necessidade de incremento na produção do patim HD, e torná-lo mais competitivo junto ao mercado. Apresentou-se uma análise comparativa do processo atual de soldagem ao arco elétrico (GMAW), com o processo proposto, soldagem por projeção (RPW). Utilizou-se uma série de ensaios para analisar os resultados e confrontá-los de acordo com os requisitos específicos para os patins de freio. Inicialmente, foram realizados estudos por elementos finitos, para validação dos modelos. Realizaram-se lotes pilotos que foram avaliados conforme requisitos da empresa. As peças foram avaliadas pelo método de fadiga por ciclagem, o que não mostrou uma diferença significativa nas médias de duração de ciclos até a falha, entre os dois processos de fabricação testados. A análise através de macrografia não apresentou defeitos e descontinuidades na região soldada por ambos os processos. No último teste destrutivo realizado, de ruptura da solda, obteve-se conformidade total para o processo atual, porém apresentou uma falha parcial, em parte da região soldada pelo processo proposto, o qual demonstrou a necessidade de ajustes nos parâmetros de soldagem. Concluiu-se que o processo de soldagem (RPW), atendeu as especificações do patim HD e pode ser utilizado, desde que ajustados os parâmetros de soldagem.

**Palavras-chaves:** Patim HD. GMAW. RPW. Processo de soldagem. Soldagem por projeção.

## ABSTRACT

This work arose from the need for increased production of HD brake shoes, and make it more competitive in the market. Presented a comparative analysis of the current process to arc welding (GMAW), with the proposed method, projection welding (RPW). It was used a series of tests to analyze the results and confront them according to the specific requirements for brake shoes. Initial finite element studies for validation of the models were performed. Samples pilots who were assessed according to the requirements of the company. The parts were evaluated by fatigue cycling method, which showed no significant difference in mean duration of cycles to failure between the two tested manufacture processes. Analysis by macrograph showed no defects and discontinuities in the weld region for both processes. On the last destructive test performed, breaking the weld, obtained full compliance to the current process, but showed a partial failure in the welded region of the proposed process, which demonstrated the need for adjustments to the welding parameters. It was concluded that the process of welding (RPW), meet the specifications of HD brake shoes and may be used, provided that set welding parameters.

**Keywords:** HD brake shoes. GMAW. RPW. Welding process. Projection welding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Freio a tambor .....	13
Figura 2 – Freio a tambor Tipo S Came .....	15
Figura 3 – Vista explodida do Freio a tambor Tipo S Came .....	16
Figura 4 – Patim de freio .....	17
Figura 5 – Soldagem GMAW .....	19
Figura 6 – Esquema geral para soldagem GMAW .....	20
Figura 7 – Taxa de fusão em função da intensidade da corrente para diferentes diâmetros ( $\emptyset$ ) de arame .....	23
Figura 8 – Principais métodos de soldagem por resistência elétrica .....	25
Figura 9 – Ciclo de soldagem, composto pelas fases (a) compressão; (b) soldagem; (c) manutenção; (d) espera .....	26
Figura 10 – Algumas aplicações de soldagem por projeção .....	26
Figura 11 – Dimensões bases para o projeto da projeção .....	27
Figura 12 – Distribuição de temperaturas e resistências .....	28
Figura 13 – Influência da pressão e acabamento superficial sobre a resistência .....	29
Figura 14 – Fluxograma para a metodologia .....	34
Figura 15 – Espectômetro eletrônico .....	35
Figura 16 – Projeto modificado dos componentes .....	36
Figura 17 – Projeto proposto modelado (RPW) .....	37
Figura 18 – Projeto atual modelado (GMAW) .....	37
Figura 19 – Modelo para MEF .....	38
Figura 20 – Máquina de solda projeção RWC .....	39
Figura 21 – Rolo de solda HD .....	40
Figura 22 – Dispositivo de teste TP016 .....	41
Figura 23 – Medição do deslocamento .....	41
Figura 24 – Inspetor de solda para ensaios de macografia .....	42
Figura 25 – Prensa hidráulica Markuse 50ton .....	43
Figura 26 – Modelo atual (GMAW) .....	45
Figura 27 – Principais tensões (GMAW) .....	46
Figura 28 – Modelo proposto (RPW) .....	47
Figura 29 – Principais tensões (RPW) .....	47

Figura 30 – Protótipo com o processo RPW .....	48
Figura 31 – Análise estatística ANOVA .....	50
Figura 32 – Intervalo para média 95% CI .....	50
Figura 33 – Patim com quebra na região crítica.....	51
Figura 34 – Macrografia GMAW (seção lado esquerdo) .....	52
Figura 35 – Macrografia GMAW (seção lado direito) .....	52
Figura 36 – Macrografia RPW (seção lado esquerdo) .....	53
Figura 37 – Macrografia RPW (seção lado direito) .....	53
Figura 38 – Teste destrutivo GMAW .....	54
Figura 39 – Teste destrutivo nervura esquerda.....	55
Figura 40 – Teste destrutivo nervura direita.....	55

## LISTA DE SIGLAS

ASA	<i>Automatic Slack Adjuster</i> – (Ajustador Automático)
BF	<i>Brake Factor</i> – (Fator de Freio)
CAE	<i>Computer Aided Engeneering</i> – (Engenharia auxiliada por computador)
$C_{eq}$	$C_{eq}$ - (Carbono Equivalente)
HD	<i>Heavy Duty</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> – (Análise de efeito e modo de falha)
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i> – (Soldagem ao arco elétrico com gás de proteção)
IHM	<i>IHM</i> – (Interface Homem/Máquina)
MAG	<i>Metal Activ Gas</i> – (Metal em gás ativo)
MIG	<i>Metal Inert Gas</i> – (Metal em gás inerte)
MEF	Método de elementos finitos
MSA	<i>Manual Slack Adjuster</i> – (Ajustador Manual)
RPW	<i>Resistence Projection Welding</i> – (Solda projeção)
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> – (Sociedade dos engenheiros automotivos)
SRC	<i>Safety Related Components</i> – (Componentes com características de segurança)



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões e aplicações das sapatas de freios .....	18
Tabela 2 – Gases de proteção para os processos GMAW .....	23
Tabela 3 – Classificação da soldabilidade .....	30
Tabela 4 – Análise da composição química (Norma x Análise) .....	44
Tabela 5 – Teste comparativo de ciclagem .....	49
Tabela 6 – Teste de deflexão .....	51

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1.	EMPRESA.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	13
1.3.	OBJETIVOS .....	14
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1	FREIOS A TAMBOR TIPO S CAME.....	15
2.2	SAPATA DE FREIO .....	17
2.3	PROCESSOS DE SOLDAGEM .....	19
<b>2.3.1</b>	<b>Soldagem GMAW .....</b>	<b>19</b>
2.3.1.1	Variáveis do processo .....	22
<b>2.3.2</b>	<b>Soldagem por projeção.....</b>	<b>24</b>
2.3.2.1	Variáveis do Processo.....	27
<b>2.3.3</b>	<b>Soldabilidade dos aços.....</b>	<b>30</b>
2.4	REQUISITOS PARA CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDAGEM .....	31
<b>2.4.1</b>	<b>Requisitos para a soldagem GMAW.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Requisitos para soldagem por projeção.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Ensaio destrutivo / não destrutivo .....</b>	<b>32</b>
<b>3.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....</b>	<b>34</b>
3.1	METODOLOGIA.....	34
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS.....	35
3.3	ANÁLISE POR MEF .....	36
<b>3.3.1</b>	<b>Geometria proposta .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Análise dos resultados dos modelos .....</b>	<b>38</b>
3.4	PROTOTIPAGEM DO MODELO RPW .....	39
3.5	ANÁLISE DE FADIGA POR CICLAGEM .....	40
3.6	ANÁLISE ATRAVÉS DE MACROGRAFIA.....	42
3.7	ANÁLISE DE RUPTURA DA SOLDA .....	42
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>44</b>

4.1	MATERIAIS UTILIZADOS.....	44
4.2	ANÁLISE POR MEF .....	45
<b>4.2.1</b>	<b>Análise do modelo atual (GMAW).....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análise do modelo proposto (RPW).....</b>	<b>46</b>
4.3	PROTOTIPAGEM DO MODELO RPW.....	48
4.4	ANÁLISE DE FADIGA POR CICLAGEM .....	49
4.5	ANÁLISE MACROGRÁFICA .....	54
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
	<b>TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
	<b>ANEXO A – NORMA MERITOR 2004, SPEC 802.....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO B – NORMA MERITOR 2008, 2297 –X– 2832.....</b>	<b>66</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento do mercado globalizado e a internacionalização da economia, as indústrias do ramo de autopeças buscam cada vez mais a melhoria e a otimização dos seus processos de fabricação, como forma estratégica para redução de custos e conseqüentemente, aumento da sua lucratividade. Esta questão passa a ser uma das estratégias utilizadas pelas indústrias para permanecer de forma competitiva no seu mercado de atuação.

Revisitar os seus processos de manufatura, torna-se hoje requisito obrigatório das organizações, devido à crescente evolução da tecnologia oferecida ao mercado e ao aumento dos incentivos relacionados a pesquisas. O que ontem foi bom, hoje, pode ser que já não seja o mais adequado, e para cada cenário em específico, tem-se uma enormidade de ofertas de novas soluções, necessitando apenas a intervenção de um especialista. O papel do engenheiro para administrar pesquisas científicas, direcionado a resolução de problemas, com embasamento robusto, visa subsidiar as principais tomadas de decisões da organização.

Um das ações mais comuns para engenheiros que atuam na manufatura, é a pesquisa contínua por novos processos, elaborando análises comparativas tanto qualitativas como quantitativas para mensurar a viabilidade técnica e econômica dos projetos. Na manufatura de componentes automotivos da linha pesada, os processos de soldagem são utilizados em grande escala na união de componentes. Pode-se observar os mais rigorosos controles de qualidade para os processos atuais, os quais também são aplicados para aprovação em testes de novos processos.

A criticidade das análises envolvidas na área da soldagem, deve-se ao fato de componentes automotivos da linha pesada, serem norteados por requisitos e controles diferenciados, da mais alta qualidade conhecida no mercado. Exigências ainda mais compreensíveis para a empresa onde realizou-se o presente trabalho, por seu *know-how* em manufatura de freios, mantendo sua visão em ser reconhecida pela excelência em controle de movimentos.

### 1.1. EMPRESA

O presente trabalho foi realizado na Empresa Randon Implementos e Participações – filial Master Sistemas Automotivos, sediada em Caxias do Sul a qual trabalha com implementos rodoviários da linha pesada, mais especificamente na produção de sistemas de controle e parada de veículos.

A Master Sistemas Automotivos Ltda., fundada em 1986, é uma *joint-venture* entre Randon e Meritor, sendo que a empresa brasileira detém 51% do capital social. A Master é líder no segmento de freios pneumáticos a tambor (Figura 1). Atualmente, as linhas de produtos fabricados são: freio pneumático do tipo “S” came, freio pneumático do tipo “Z” came, freio pneumático a disco, freio hidráulico a disco (quadraulic), Ajustadores Automáticos (ASA), Ajustadores Manuais (MSA) e Câmaras de freios ou Atuadores.

Figura 1 - Freio a tambor



[Fonte: Freios Master].

A empresa também está crescendo no segmento de válvulas e sistemas anti-bloqueio de frenagem ou *Anti-Lock Brake System* (ABS), produtos que se complementam e que de acordo com a nova legislação serão de obrigatoriedade em todos os veículos a partir do ano de 2014. Os principais clientes são: MAN, Ford, Iveco, Mercedes, Agrale, Randon Implementos, Hino, Guerra e DAF.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Conhecendo o atual cenário de crescente competição, as indústrias automotivas precisam tomar a melhor decisão referente ao futuro de seus processos, e o propósito deste trabalho surgiu como subsídio para a tomada de decisão na escolha do melhor processo de soldagem dos patins de freio.

Este trabalho vem a contribuir para que a Master se torne mais competitiva no mercado de freios, atualizando seus processos de soldagem, aumentando a sua produtividade, agregando valor ao produto final e perpetuando os seus lucros.

### 1.3. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar de forma comparativa a proposta de utilização do processo de soldagem por resistência, mais especificamente solda projeção, em relação ao atual processo de soldagem GMAW aplicado na união dos componentes da sapata de freio, baseado em uma série de testes.

Baseados no objetivo geral ficam estabelecidos os seguintes objetivos específicos.

São eles:

- Revisar a bibliografia dos processos de soldagem por arco elétrico GMAW (*Gás Metal Arc Welding*) e por resistência elétrica “projeção” (*RPW*).
- Analisar as propriedades dos materiais envolvidos.
- Analisar os resultados obtidos pelo método de elementos finitos para ambos os processos de soldagem.
- Realizar a prototipagem dos componentes unidos pelo processo proposto (*RPW*).
- Analisar através de macrografia, as soldas unidas pelo processo de solda projeção (*RPW*) comparando ao atual processo de soldagem (*GMAW*).
- Analisar os resultados obtidos no teste de ciclagem por fadiga para ambos os processos.
- Realizar o teste destrutivo de ruptura da solda para ambos os processos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

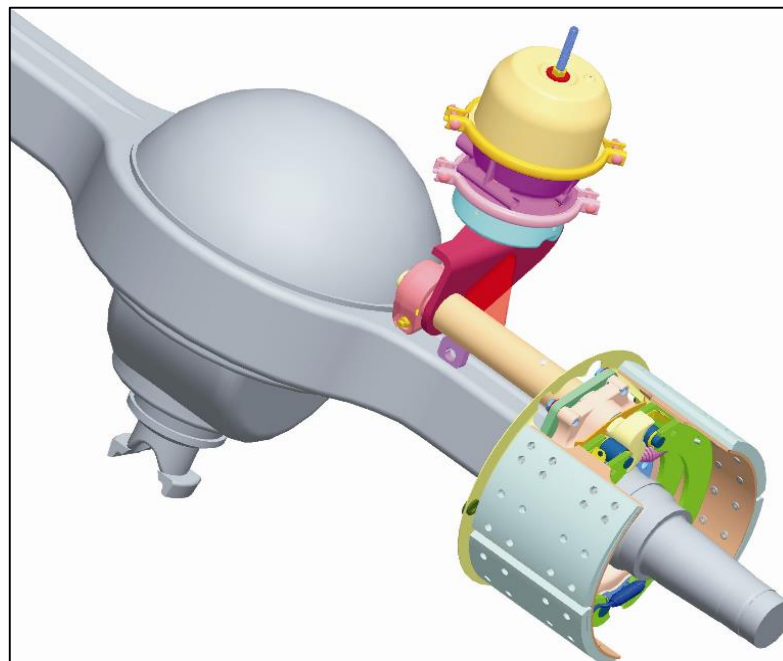
Atualmente, os patins de freio têm aplicações específicas em freios do tipo S-Came em veículos comerciais, tais como, semirreboques, caminhões, reboques, ônibus e micro-ônibus, sendo utilizadas desde a linha de carga leve até a linha pesada. Porém sua aplicação é ampla, sendo utilizadas em grande escala na indústria automobilística, na indústria de máquinas e transportes em geral.

Apresenta-se neste capítulo, uma revisão sobre o funcionamento do freio pneumático mostrando de forma explicativa o seu princípio de funcionamento até enfatizar o produto foco deste trabalho que é a sapata de freio, o qual será apresentado com seus componentes assim como o seu processo de fabricação, onde será realizado uma revisão dos conceitos de soldagem ao arco elétrico e soldagem por resistência.

### 2.1 FREIOS A TAMBOR TIPO S CAME

O freio a tambor tipo S-Came (Figura 2) é uma combinação de componentes mecânicos que transformam as forças nele aplicadas em forças de frenagem, sendo suas principais funções o controle e a parada dos veículos.

Figura 2 - Freio a tambor Tipo S Came

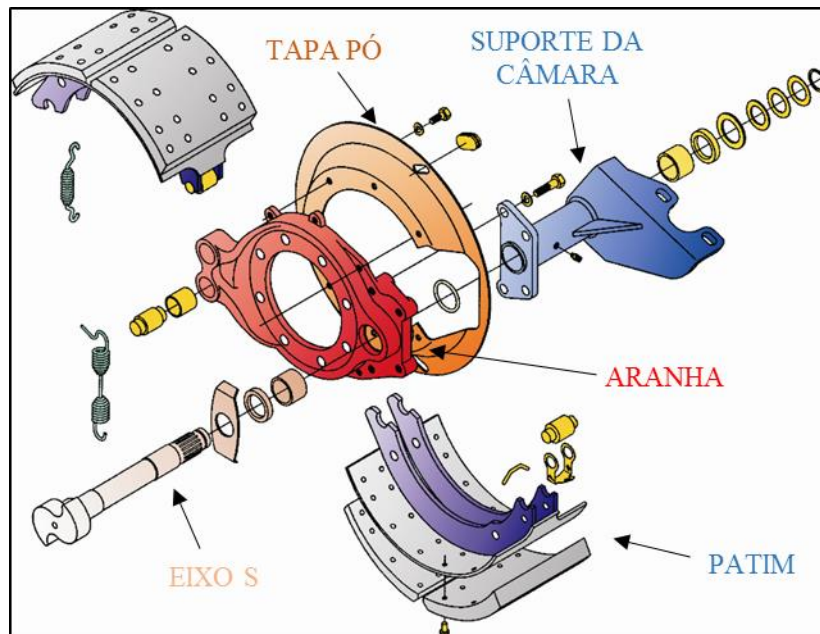


[Fonte: Master Sistemas Automotivos, 2014].

Os freios a tambor são os freios comumente utilizados no mercado automotivo da linha pesada, sua escolha é desejada devido ao seu alto fator de freio ( $BF$ ), ainda que tenha um torque menos eficiente que o freio a disco (GILLESPIE, 1992).

O conjunto freio a tambor tipo S-Came é composto de diversos componentes, porém, os principais são o patim, a aranha, o suporte da câmara e o eixo “S”, conforme mostra a figura 3.

Figura 3 – Vista explodida do Freio a tambor Tipo S Came



[Fonte: Master Sistemas Automotivos, 2014].

O freio S came possui dois patins com lonas de atrito rebitadas na sua superfície, as quais são responsáveis através do atrito com o tambor de reduzir e controlar a velocidade do veículo. O acionamento destes patins ocorre pela rotação do eixo came com o perfil de um “S”, por este motivo, o nome de “freio S came”. O eixo realiza o acionamento dos patins por intermédio de roletes fixados nas extremidades dos patins, permitindo o deslizamento dos mesmos pelo perfil do “S” à medida que o came rotaciona, expandindo os dois patins até o contato com o tambor,

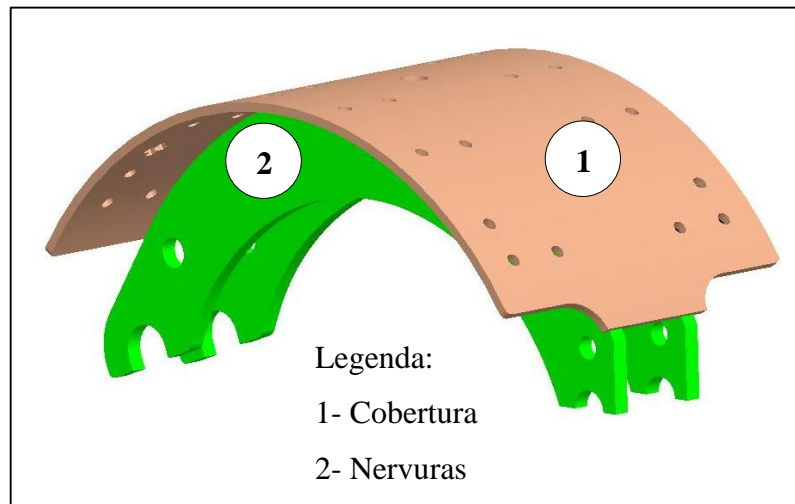
Estes movimentos para atuação do freio, são possíveis devido a interligação de todos os componentes entre si, entre alguns dos principais deles: Patim de freio, eixo S, aranha de freio e suporte da câmara (LIMPERT, 1999).



## 2.2 PATIM DE FREIO

Os patins de freio são compostos basicamente de duas nervuras e uma cobertura, conforme figura 4, onde, após passar pelos processos de manufatura, ela recebe a lona de freio que é fixada por rebites na cobertura, denominando-se assim conjunto patim de freio até a montagem final para ser incorporada ao conjunto de freio (SCHNEIDER, 2008).

Figura 4 – Patim de freio



[Fonte: Adaptado de Master Sistemas Automotivos, 2014].

Atualmente, a empresa Master tem dois processos distintos de manufatura relativos a soldagem dos patins de freio, processos os quais modificam totalmente o fluxo dos mesmos, e estão relacionados ao tamanho do patim e aplicação. O maior volume de produção destes patins, atualmente passam pelo processo de soldagem por resistência, em específico, solda projeção para união das nervuras e cobertura. Isto deve-se a elevada produtividade deste processo, garantindo a qualidade e os requisitos para o componente. Entretanto, existe um outro fluxo de processo para a manufatura do patim HD 325 mm, indicado para aplicações de menor severidade ou veículos leves de até dez toneladas (Tabela 1), o qual passa pelo processo de soldagem ao arco elétrico, em específico solda GMAW, processo semi automático. Os patins soldados pelo processo de projeção, passam por um fluxo contínuo de produção (em linha) enquanto, os patins soldados pelo processo de soldagem GMAW têm o seu fluxo de produção dividido em vários postos separados.

Tabela 1 – Dimensões e aplicações dos patins de freio

<b>TABELA DE DIMENSÕES E APLICAÇÕES</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Largura</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Processo de soldagem</b>
<b>325 mm ( HD )</b>	“Q” e “Q” Plus	100 e 120 mm	Veículos Leves	<b><i>GMAW</i></b>
<b>15”</b>	“Q” Plus	4”, 6”, 7” e 8,5/8”	Veículos Médios, Semi- Pesados e Pesados	<b><i>Projeção</i></b>
<b>15,5”</b>	“Q”	5” e 6”	Conversões	<b><i>Projeção</i></b>
<b>16,5”</b>	“Q” e “Q” Plus	5”, 6”, 7”, e 8”	Adaptações, Implementos e 3º Eixos	<b><i>Projeção</i></b>

[Fonte: Adaptado de Freios Master].

O processo de manufatura do patim de freio tem uma importância expressiva devido a sua aplicação estar relacionada a um produto de segurança. Porém, o processo como um todo, desde a realização do projeto do produto, até a sua concepção na manufatura, deve ser realizado com planejamento e metodologias apropriadas para um bom andamento e sucesso no processo de união por soldagem dos componentes do patim, como a cobertura e as nervuras.

As nervuras e a cobertura do patim, são confeccionadas em prensas mecânicas, a partir do processo de corte e estampo a frio, utilizando ferramentas específicas, para atender as características dimensionais e construtivas da peça, as quais variam de acordo com o projeto e aplicação. A matéria-prima utilizada para a nervura é o aço carbono SAE 1030 modificado seguindo os requisitos da norma Meritor SPEC B106-2. A cobertura utiliza como matéria-prima o aço carbono SAE 1010 seguindo os requisitos da norma Meritor SPEC B100-1A (BUNIATTI, 2014).

A composição química dos materiais das nervuras, é modificado, devido as reduções dos limites de fósforo e enxofre, visando aumentar a soldabilidade dos materiais, e com o acréscimo de alguns elementos, como Cromo, Níquel e Cobre. Visando melhorar a temperabilidade, pois o patim após o processo de soldagem, ainda passa pelos processos de calibragem da curvatura, usinagem por brochamento e têmpera por indução na região das extremidades das nervuras.

## 2.3 PROCESSOS DE SOLDAGEM

A soldagem é o processo de união de materiais metálicos, usando ou não uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão, é o mais utilizado no meio industrial sendo utilizado nas mais diversas áreas para fabricação ou recuperação de equipamentos e estruturas (WAINER, 1992).

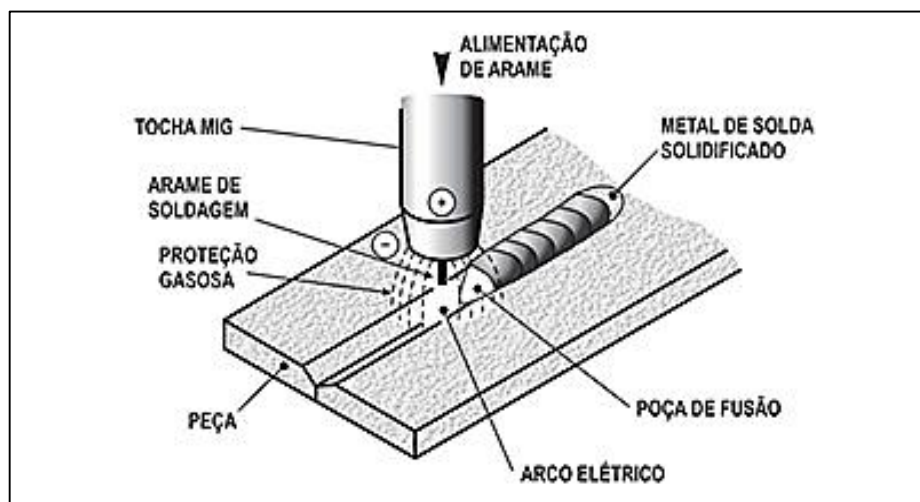
Neste contexto a forma de unir está dividida por processos diferentes que competem entre si, produzindo resultados tecnológicos similares, porém a escolha do método a ser empregado incide geralmente no menor custo agregado.

O estudo aqui dirigido proporciona uma visão dos métodos que se pode utilizar para solucionar problemas práticos do dia a dia, com a revisão da bibliografia dos processos de soldagem os quais já alcançaram o estado da arte em nível de detalhamento, disponível ao público alvo em forma de livros, teses, e artigos para aprofundamento didático na união de materiais metálicos garantindo a continuidade das propriedades da matéria.

### 2.3.1 Soldagem GMAW

Soldagem a arco com proteção de gás GMAW (*Gás Metal Arc Welding*) é o processo em que resulta a união de peças metálicas através do aquecimento das mesmas na presença de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo e a peça, intermediado por uma poça de fusão, conforme indicado na figura 5 (FORTES, 2005).

Figura 5 – Soldagem GMAW



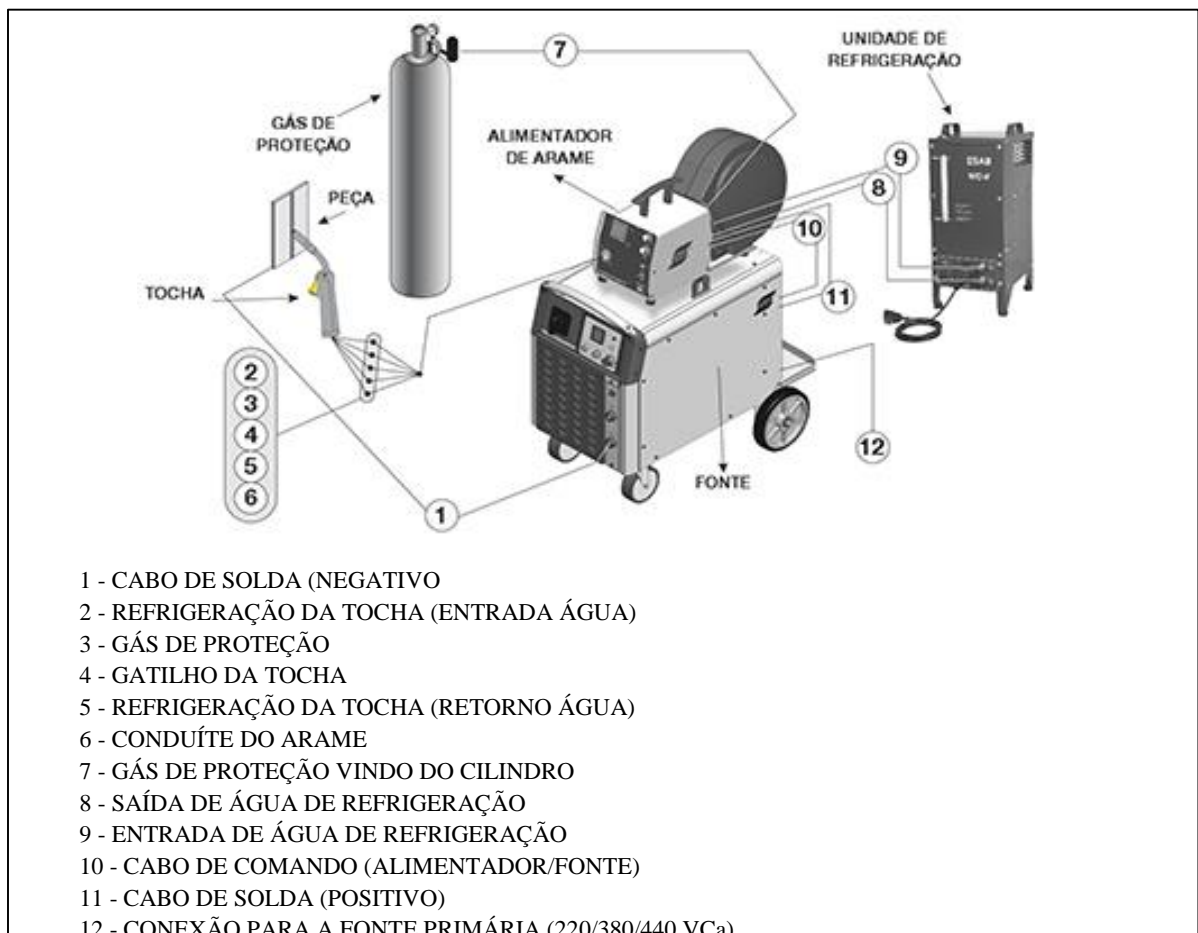
[Fonte: Fortes, 2005].

A proteção da região de soldagem é feita por um fluxo de gás inerte comumente chamada de solda “MIG” ou gás ativo comumente chamado de solda “MAG”. O processo MIG é adequado a soldagem de aços carbono, aços de baixa, média e alta liga, aços inoxidáveis, alumínio e ligas, magnésio e ligas e cobre e ligas, já o processo MAG é utilizado na soldagem de aços de baixo carbono e aços de baixa liga (WAINER, 1992).

O gás de proteção tem o objetivo de expulsar o ar atmosférico da região de soldagem evitando a contaminação da poça de fusão. A contaminação é causada principalmente pelo nitrogênio (N<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>) e vapor d'água (H<sub>2</sub>O) presentes na atmosfera (FORTES, 2005).

Na figura 5 é possível identificar os elementos inerentes ao processo de solda GMAW. O calor gerado para fundir o metal de enchimento (consumível) e o metal base ocorre devido ao arco elétrico formado entre as duas peças, o gás age protegendo o arco elétrico e a poça de fusão. Este processo possui equipamentos específicos (Figura 6) e pode ser automático ou semiautomático, o arame é alimentado mecanicamente, através de um alimentador, sendo o soldador o responsável pelo início e fim da soldagem, movendo a tocha ao longo da junta (QUITES, 2002).

Figura 6 – Esquema geral para soldagem GMAW



[Fonte: Fortes, 2005].

A figura 6 apresenta um esquema geral do equipamento utilizado no processo de soldagem GMAW. O alimentador de arame está ligado à fonte de energia que pode ser do tipo corrente constante (velocidade de fusão constante) ou com tensão constante (comprimento de arco estável), geralmente corrente contínua e possui um controle para a velocidade de alimentação através de manípulos, ou IHM (*interface homem/máquina*) nas mais modernas. Juntos, eles determinam o valor da corrente de soldagem. A pistola pode ser refrigerada a ar ou água, acompanhada de uma unidade de refrigeração, dependendo da escolha da corrente de soldagem, do gás, do tipo de aplicação e junta.

O reservatório do gás é um cilindro de aço com o gás adequado para a soldagem, com acoplamento à válvula de abertura, um regulador de pressão e um medidor para controle de vazão do gás de proteção, utilizando-se também redes de gás encanado, para instalações industriais, as quais utilizam o gás em grande quantidade, mantendo apenas as centrais de distribuição, junto a máquina de solda.

Segundo Machado (1996), este processo teve grande expansão após a segunda guerra mundial, quando foi comprovado a viabilização da sua aplicação, primeiramente para a soldagem do magnésio e suas ligas, onde logo após foi introduzido no lugar do argônio o CO<sub>2</sub>, parcial ou totalmente na soldagem de aços. O processo MIG/MAG é hoje empregado desde em pequenas indústrias até naquelas responsáveis por grandes produções e/ou alta qualidade, esta flexibilidade se alia algumas vantagens de se utilizar este processo, porém deve-se ter conhecimento também das suas limitações.

De acordo com Brandi (1996) pontuam-se algumas das principais vantagens e limitações do processo GMAW, as quais deve-se observar como referência na hora de escolher o processo ideal, e são mostradas a seguir:

(a) Vantagens:

- Processo versátil, podendo ser adaptado facilmente ao processo automático.
- Eletrodo alimentado continuamente.
- Possibilidade da solda ser executada em todas as posições.
- Velocidade elevada de soldagem.
- Taxa de deposição elevada devido à densidade de corrente alta na ponta do arame.
- Não há formação de escória, eliminando o tempo de acabamento da junta.

- Possibilidade de controlar a penetração e a diluição durante o processo de soldagem.
- Facilidade na execução.

(b) Desvantagens:

- Alta velocidade de resfriamento, por não haver escória, aumentando o risco de trincas.
- Necessidade de proteção às correntes de ar.
- Restrições em locais de difícil acesso, devido a necessidade da proximidade do bocal.
- Grande emissão de raios ultravioleta.
- Equipamento caro e complexo relativo a ajustes
- Projeções de gotas de metal líquido durante a soldagem.

#### 2.3.1.1 Variáveis do processo

Para que seja possível obter níveis aceitáveis de qualidade na soldagem, deve-se observar algumas variáveis que tem relação direta com o processo escolhido, que no caso da soldagem GMAW, é a tensão do arco, a corrente de soldagem, velocidade de avanço, onde são denominadas as variáveis ajustáveis primárias ou comumente conhecidas como “parâmetros de soldagem”, porém antes de iniciada a análise dos parâmetros, deve-se ter estabelecido as variáveis fixas, como os consumíveis (eletrodo nu, e gás de proteção). Após observados estes detalhes tem-se por último as variáveis ajustáveis secundárias, como técnicas a serem aplicadas na execução, comprimento do cordão de solda e o ângulo de posicionamento do bocal. Ainda devendo-se considerar que a maioria destas variáveis não age de forma independente, mas com uma forte interação entre elas (MACHADO, 1996).

Para o consumível, gás de proteção (Ar, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e He) deve-se observar a finalidade do tipo de gás utilizado, pois ele tem a função primordial de proteção da poça de fusão, influenciando no formato e penetração da mesma quando parametrizado para um dos quatro tipos de transferências (globular, curto-circuito, pulverização e arco pulsado). A utilização dos gases tem aplicações específicas para cada material. Na tabela 2 estão elencadas as principais utilizações de misturas de gases utilizados na soldagem de aços ao carbono, e também o seu comportamento químico em relação a poça de fusão.

Tabela 2 - Gases de proteção para os processos GMAW

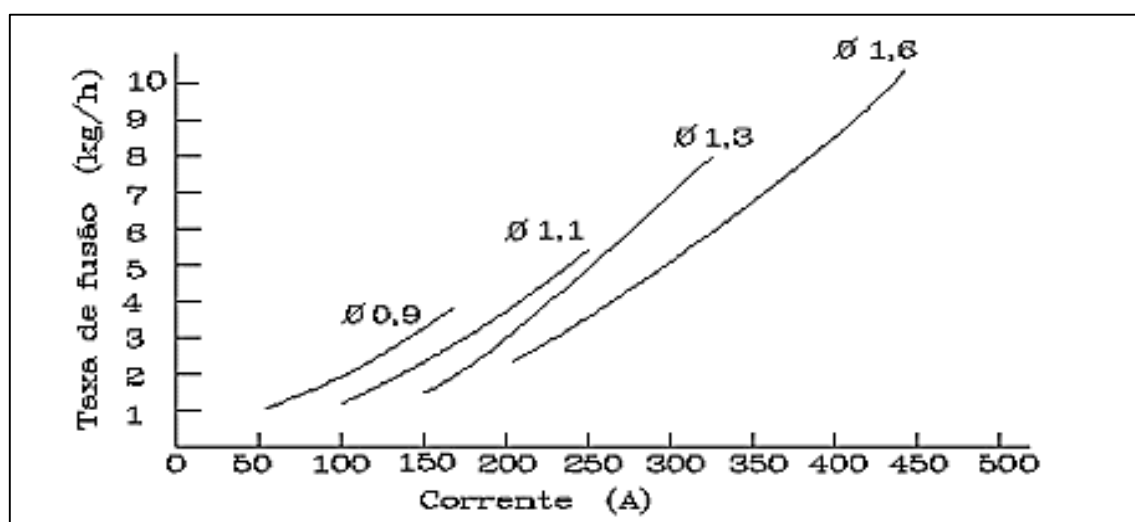
Gás de proteção	Comportamento químico	Aplicações típicas
Ar + (3 - 5%) oxigênio	oxidante	aço carbono e alguns aços de baixa liga
CO <sub>2</sub>	oxidante	aço carbono e alguns aços de baixa liga
Ar + (20 - 50%) CO <sub>2</sub>	oxidante	aço carbono (transferência por curto-circuito)
Ar + 10% CO <sub>2</sub> + 5% oxigênio	oxidante	aços carbono (Europa)
CO <sub>2</sub> + 20% oxigênio	oxidante	aços carbono (Japão)

[Fonte: Adaptado de Wainer, 1992].

Devido à grande interação de todas as variáveis, a parametrização deste processo de soldagem, torna-se de certa forma complexa. Desta forma o foco será dado nas variáveis ajustáveis primárias (corrente, tensão e velocidade de soldagem).

A corrente de soldagem controla a penetração da solda, modo de transferência, tensão do arco e taxa de deposição, sendo que é o parâmetro com maior influência sobre estes fatores. Ainda a taxa de fusão similar a taxa de deposição, é relacionada pela massa de consumível fundida por unidade de tempo, que varia quase que linearmente com a corrente, representada em curvas individuais com seu respectivo diâmetro de arame conforme mostrado na figura 7.

Figura 7 – Taxa de fusão em função da intensidade da corrente para diferentes diâmetros ( $\emptyset$ ) de arame



[Fonte: Machado, 1996].

Nos processos GMAW podem ocorrer ainda uma brusca mudança no volume da massa das gotas, devido a variação na corrente de soldagem, as faixas onde ocorrem essas variações são chamadas de faixas de transição entre os tipos de transferências (WAINER, 1992).

A tensão do arco regula a largura do cordão e o modo de transferência, e é diretamente influenciado por: corrente do arco mantida pelo soldador, tipo de arame, intensidade da corrente, tipo de gás de proteção.

Existindo uma relação direta da tensão em relação ao comprimento do arco, utiliza-se a parametrização da tensão para controlar o processo e o comprimento do arco, por sua vez o comprimento do arco afeta diretamente a largura da poça. Com uma baixa tensão pode aparecer porosidade, falta de fusão, cordão estreito e convexo, porém com aumento excessivo deste parâmetro aumenta o arco elétrico causando porosidade e mordedura. Em ambos os casos deve-se manter uma estabilidade do arco, pois a sua variação é extremamente prejudicial (MACHADO, 1996).

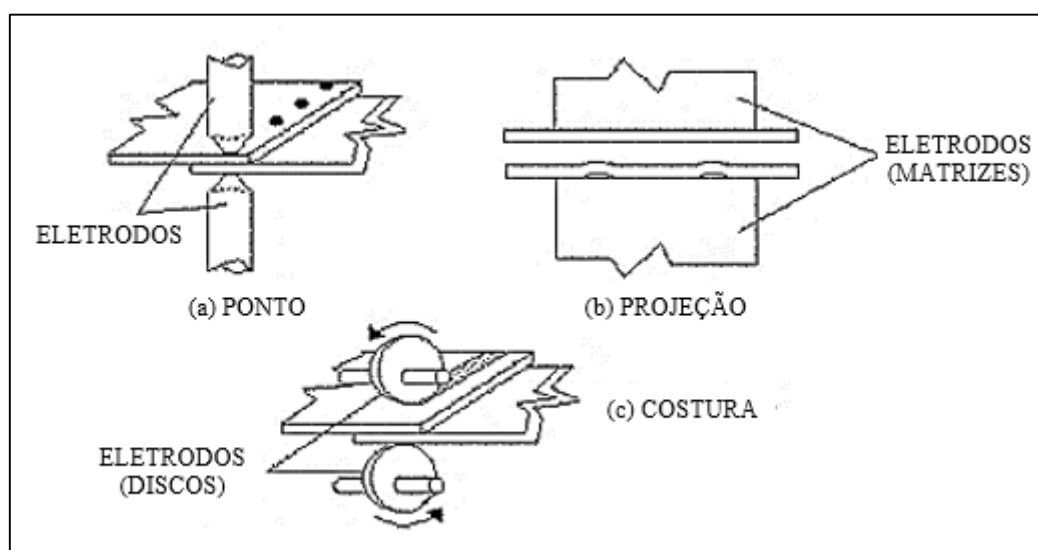
A velocidade com que a tocha se desloca, afeta diretamente a geometria da poça de fusão. Sendo considerado um importante fator de produtividade, este parâmetro sempre tende a ser o máximo possível para cada aplicação, entretanto o aumento da velocidade de soldagem sem observar outros parâmetros em conjunto pode provocar certos defeitos, como por exemplo: falta de penetração, diminuição das dimensões gerais do cordão entre outros (MACHADO, 1996).

### **2.3.2 Soldagem por projeção**

Segundo Machado (1996), quando se trata de soldagem por resistência pode-se citar variados processos distintos de fabricação utilizados pelos mais diversos campos da indústria automotiva. Porém, a grande concentração de utilização dos processos os quais a resistência à passagem da corrente elétrica gera a energia utilizada para a soldagem, se dá em torno de três principais métodos. Métodos os quais são conhecidos como “solda ponto” (figura 8 – a) utilizado ainda em grande escala na área das indústrias automotivas para fixação das carenagens, “solda projeção” (figura 8 – b) utiliza nas indústrias para união principalmente de pequenos elementos, como porcas, parafusos e peças com projeto específico para esta aplicação e a “solda por costura” (figura 8 – c) utilizado nas indústrias para união principalmente de tubos, tambores e tanques entre outras aplicações.



Figura 8 – Principais métodos de soldagem por resistência elétrica

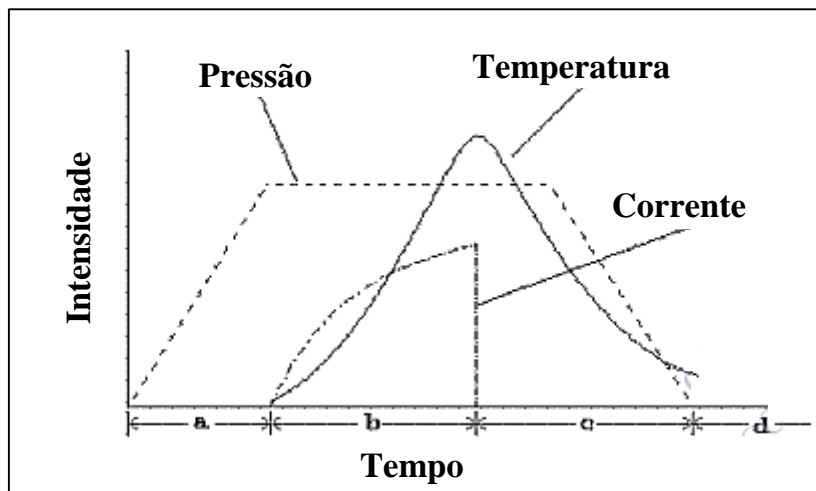


[Fonte: Adaptado de Machado, 1996].

O princípio básico desses processos, reside na passagem de corrente elétrica entre dois eletrodos (não-consumíveis) que comprimem peças distintas. Conseqüentemente, devido à maior resistência apresentada pelas interfaces em contato, ocorre a fusão nesse local, formando a solda (MACHADO, 1996).

A seqüência fundamental desse processo, pode ser descrita pelo movimento do eletrodo (não consumível – de menor resistência em relação a junta) pressionando e comprimindo as chapas. Após esta etapa, a corrente elétrica é disparada e circula por tempo pré estabelecido para que ocorra a fusão, formando o “ponto de solda”. Após a corrente ser interrompida, os eletrodos continuam pressionados contra as chapas por um tempo pré estabelecido, visando a solidificação da solda e manutenção da junta. Finalmente os eletrodos são retraídos, realizando assim um ciclo de soldagem. Conforme a figura 9, pode-se classificar este ciclo em quatro fases distintas (compressão, soldagem, manutenção e espera), monitoradas por três variáveis de controle (pressão, temperatura e corrente). No primeiro ciclo pode-se caracterizar como o início da operação e passagem de corrente, onde pelos menos um eletrodo se movimenta para realizar a compressão das chapas. No ciclo denominado de soldagem tem-se a circulação da corrente em sua maior intensidade até ocorrer a fusão, formando o “ponto de solda”. Neste estágio ocorre o maior valor de temperatura como pode-se observar no gráfico da figura 9. Logo após tem-se o ciclo de manutenção, onde ocorre o resfriamento da junta, devido a interrupção da corrente, porém ainda comprimida pelos eletrodos até a solidificação. Por último tem-se o ciclo denominado de espera, o qual se refere ao intervalo de tempo entre uma solda e outra.

Figura 9 – Ciclo de soldagem, composto pelas fases (a) compressão; (b) soldagem; (c) manutenção; (d) espera

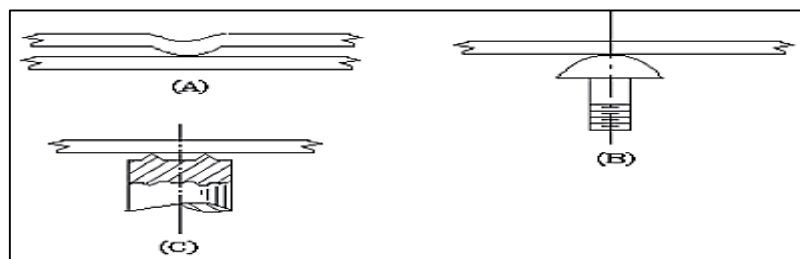


[Fonte: Adaptado de Machado, 1996].

A solda de projeção como dito antes, é uma ramificação da solda por resistência, em que o fluxo de corrente é concentrado no ponto de contato com uma extensão geométrica local por muitas vezes denominada por “ressalto”, “pepita” e até mesmo “projeção” de uma (ou ambas) das peças a serem soldadas. Estas extensões ou saliências, são usadas para concentrar a geração de calor no ponto de contato. O processo geralmente usa correntes e forças mais baixas, e os tempos de soldagem mais curtos do que processos similares sem as projeções. Soldagem de projeção é frequentemente usado nas aplicações mais difíceis de soldagem por resistência, porque uma série de soldas pode ser feita de uma só vez, o que acelera o processo de fabricação tornando este método produtivo, viabilizando a sua implementação (ASM, 1993).

Este método é utilizado numa grande variedade de peças, geralmente com geometrias mais complexas, do que aquelas que podem ser soldadas por ponto. É conveniente que uma das peças seja preparada no processo de estamparia ou forja, já com as projeções (Figura 10).

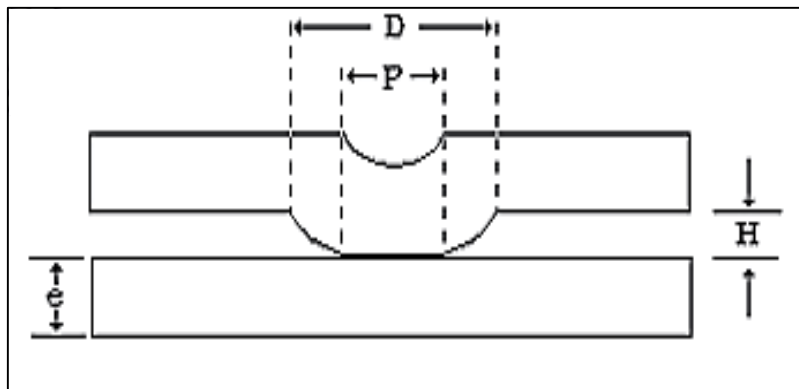
Figura 10 – Algumas aplicações de soldagem por projeção



[Fonte: Machado, 1996].

A geometria das projeções exercem grande influência sobre a densidade de corrente e, como consequência, qualidade da junta. Para que as projeções resultem de maneira desejada, é necessário se construir punções e matrizes em aços ferramenta, com geometria definida. Conforme apresenta a figura 11 tem-se as dimensões típicas de projeto, onde (D) é o diâmetro da projeção, (P) é o diâmetro da ponta do punção, (H) é a altura da projeção e por fim (e) que se refere a espessura das peças (MACHADO, 1996).

Figura 11 – Dimensões bases para o projeto da projeção



[Fonte: Machado, 1996].

A chave para o sucesso de uma soldadura por projeção esta tanto na preparação adequada das partes a serem soldadas, como também na preparação do ferramental, sempre cuidando das folgas e tolerâncias afim de evitar imperfeições. Uma configuração adequada dos ferramentais é especialmente importante quando há soldagem de múltiplas projeções, porque correntes e pressões iguais são necessárias para realizar soldas de qualidade, e para projeções anelares deve-se ter uma tolerância de paralelismo em torno de três centésimos, quando uma vedação hermética é necessária (MCDEVITT, 2012).

### 2.3.2.1 Variáveis do Processo

Existem conceitos de variáveis que se aplicam ao método de soldagem por projeção, mas também são similares aos outros métodos, entre eles pode-se citar os de maior destaque: energia de fusão, força dos eletrodos e resistência elétrica, corrente e tempo de soldagem.

A energia utilizada na fusão dos pontos, é gerada nos contatos elétricos (eletrodos) e nas peças, e pode ser obtida segundo a equação de joule:

$$Q = \frac{1}{J} \int_0^t I^2 R t dt \quad (1)$$

Onde:

$Q$  = Energia térmica total (cal)

$J$  = Constante (4,185 J)

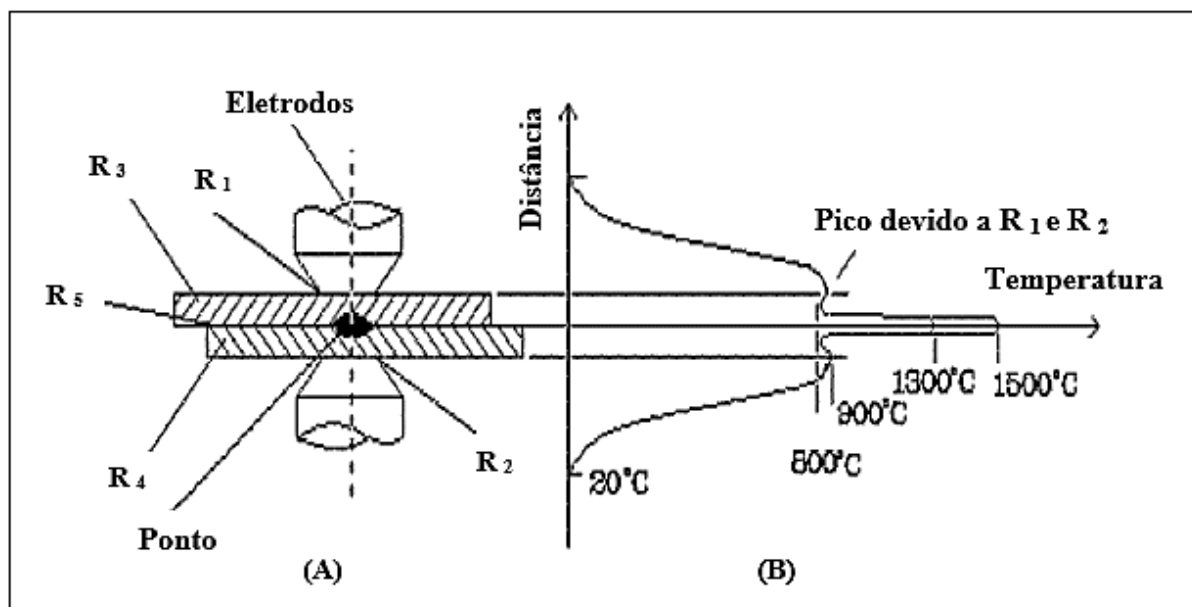
$I$  = Corrente de soldagem (A)

$Rt$  = Conjunto de resistências elétricas ( $\Omega$ )

$dt$  = intervalo de tempo de passagem da corrente (s)

Na região de distribuição do calor (figura 12) pode-se observar todos os pontos de resistência à passagem da corrente, onde  $R_1$  e  $R_2$  são as resistências dos dois eletrodos,  $R_3$  e  $R_4$  são as resistências das peças em relação aos eletrodos e por fim a resistência  $R_5$  denominada de resistência de interface. Na região de interface tem-se a maior resistência em relação a passagem da corrente, e aumento de temperatura, obviamente para que a solda ocorra. A região de interface deve ser a primeira a alcançar a temperatura de fusão dos metais base (MACHADO, 1996).

Figura 12 – Distribuição de temperaturas e resistências

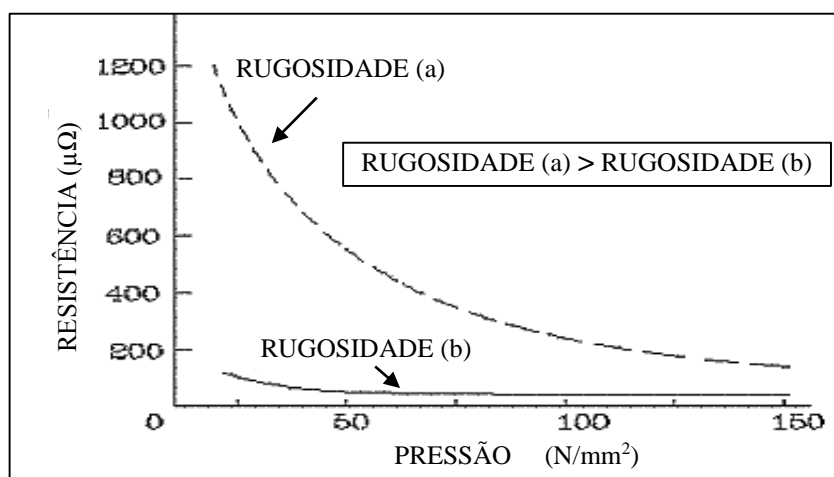


[Fonte: Adaptado de Machado, 1996].

A força dos eletrodos exercidas sobre as peças resultam numa pressão que altera a resistência dos contatos, e facilita a circulação da corrente na interface das mesmas. Isto é explicado devido à força se sobressair com relação aos diferentes graus de rugosidade das peças de interface, diminuindo a resistência elétrica. Entretanto, a quantidade de calor gerada neste ponto diminui, sendo necessário aumentar a intensidade de corrente e/ou diminuir o tempo de sua aplicação.

A resistência de contato decresce com a pressão aplicada (Figura 13) e é altamente influenciada pelo acabamento superficial das chapas. Referenciado como (a) e (b), na figura 13 tem-se os dois níveis de rugosidade. Percebe-se então que com o aumento da pressão de contato todas as formas tendem a reduzir de forma considerável a sua resistência, chegando a parâmetros favoráveis para a formação do ponto de solda com a passagem de corrente (MACHADO, 1996).

Figura 13 – Influência da pressão e acabamento superficial sobre a resistência



[Fonte: Adaptado de Machado, 1996].

Para o controle de qualidade das soldas por projeção, tem-se como aliado a inspeção visual, onde a superfície do ponto de solda deve ser uniforme, relativamente plana e livre de fusão superficial, endentação profunda dos eletrodos, trincas, descoloração ao redor da solda, entre outros fatores que indicam a necessidade de manutenção nos eletrodos ou até mesmo no equipamento. Porém, a inspeção visual não deve ser utilizada como critério único de aceitação, por não ser um indicador confiável da qualidade da solda, já que o desvio de corrente e outras causas de aquecimento insuficiente ou penetração inadequada, usualmente não deixam efeitos visíveis nas chapas. Por isso a qualidade deve ser analisada por critérios tanto qualitativos como quantitativos através de testes destrutivos e não destrutivos (AURES, 2006).

### 2.3.3 Soldabilidade dos aços

A definição da soldabilidade para uma primeira abordagem pode ser definida como a capacidade de um metal ou liga de se deixar soldar nas condições impostas pela fabricação, numa estrutura específica e adequada e de se comportar adequadamente em serviço para o qual se destina (QUITES, 2002).

A soldabilidade dos aços ao carbono e aços de baixa liga podem ser avaliados pelo método do carbono equivalente ( $C_{eq}$ ), o qual é definido pela equação a seguir:

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5} + \frac{(\%Ni + \%Cu)}{15} \quad (2)$$

Onde:

$\%C$ : percentual de carbono na liga.

$\%Mn$ : Percentual de manganês na liga.

$\%Cr$ : Percentual de cromo na liga.

$\%Mo$ : Percentual de molibdênio na liga.

$\%V$ : Percentual de vanádio na liga.

$\%Ni$ : Percentual de níquel na liga.

$\%Cu$ : Percentual de cobre na liga.

Esta avaliação foi criada para relacionar a temperabilidade dos aços com a sua soldabilidade, e quanto maior for seu valor de carbono mais temperável será o aço, ou seja, pior a sua soldabilidade.

A categorização da soldabilidade dos aços ao carbono pode ser observada com sua respectiva caracterização na tabela 3.

Tabela 3 - Classificação da soldabilidade

$C_{eq}$	Soldabilidade
$C_{eq} < 0,4$	Alta
$0,4 \leq C_{eq} \leq 0,6$	Média
$C_{eq} > 0,6$	Baixa

[Fonte: Adaptado de Wainer, 1992].

## 2.4 REQUISITOS PARA CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDAGEM

A maioria dos processos de soldagem passam por criteriosos métodos de controle de qualidade, certificando as propriedades para a qual a junta foi proposta. Ainda mais controlados são os componentes utilizados na indústria automotiva, pois existem normas específicas exigidas pelas empresas. Este trabalho mostra um resumo dos requisitos para controle de soldagem de componentes do sistema de freio, mais especificamente a sapata de freio que comumente é chamada de patim de freio, considerada SRC (*Safety Related Components*) produtos com características de segurança, podendo apresentar perigo de acidente ou até morte, caso apresentem uma falha.

Como relatado anteriormente, a empresa Master produz patins de freio em diferentes processos de manufatura, os patins HD são soldados pelo processo GMAW enquanto o restante dos patins de 15", 15,5" e 16,5" como mostrado na tabela 1 são unidos pelo processo de soldagem por projeção.

### 2.4.1 Requisitos para a soldagem GMAW

Os patins HD são unidos pelo processo GMAW, em uma máquina semi-automática com duas tochas que atuam simultaneamente. Após a realização do cordão de solda, ele precisa passar por alguns controles executados pelos operadores e alguns mais criteriosos realizados em laboratório na área da engenharia da qualidade.

É necessário controlar parâmetros como a vazão de gás, a amperagem e a voltagem da máquina com manômetro e volt/amperímetro no início de cada turno de operação, registrando estes valores em relatórios os quais são arquivados pela área da engenharia da qualidade. Medidas geométricas como a perna da solda devem ser registradas no início do turno/setup e com frequência definida pelo FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

Além disso, a primeira peça do *setup* ou uma vez por semana, deve ser submetida a um ensaio destrutivo onde a peça é cortada transversalmente à região da solda para verificar, todas as dimensões solicitadas pela norma conforme anexo A, como perna, garganta e penetração e ainda avalia alguns defeitos superficiais (MERITOR, 2004).

### 2.4.2 Requisitos para soldagem por projeção

Os patins de 15", 15,5" e 16,5" são unidos pelo processo de soldagem por projeção em uma máquina especial de grande porte, semi-automática. Assim como o processo GMAW, este processo precisa passar por específicos requisitos de controle da qualidade da região soldada.

É necessário no início de cada turno de operação checar os parâmetros de máquina como pressão pneumática baixa/alta e pressão hidráulica através de manômetros, registrando num relatório que será arquivado pela engenharia da qualidade. Também são registradas medidas geométricas como o comprimento, largura e altura da projeção. Neste processo é ainda mais fundamental o ensaio destrutivo no início de cada turno/*setup* com uma frequência determinada pelo FMEA. Neste ensaio é aplicado uma carga vertical através de uma prensa hidráulica específica até romper a junta e são analisados todos os pontos de projeção após o desprendimento da cobertura em relação as nervuras. Estes pontos após o teste podem ser classificados como pepita inteira, parcial, com dupla laminação e sem pepita, seguindo para aprovação conforme os requisitos da norma conforme anexo B (MERITOR, 2008).

### 2.4.3 Ensaios destrutivos / não destrutivos

Os ensaios destrutivos são fundamentais para se ter certeza de que todos os requisitos específicos em relação a qualidade da solda foram atendidos. Atualmente são os mais utilizados no ramo industrial, porém, nos dias de hoje algumas tecnologias para ensaios não destrutivos estão em crescente evolução visando aumentar a produtividade e garantir a qualidade.

Atualmente existem controles adaptativos de solda por resistência, os quais utilizam plataformas de controle com tecnologia de ponta, para ajustar, em tempo real características funcionais precisas do sistema, garantindo 100% de qualidade assegurada, com diversos benefícios, entretanto o principal deles é a utilização do teste de natureza não destrutivo, eliminando a necessidade de rasgar corpos para checar a qualidade, por serem componentes com o valor agregado do produto, além da eliminação do trabalho intensivo na execução e análise dos testes destrutivos, que permite o controle em tempo real de alto desempenho em soldas por resistência automatizada (ROOKS, 2003).

As indústrias automobilísticas recebem frequentemente pesquisas relacionadas a inspeção de juntas soldadas por projeção, devido à necessidade da velocidade de testes não destrutivos. Uma alternativa para estas inspeções é a utilização de ondas ultrassônicas através de scanners específicos, onde os resultados podem ser correlacionados junto aos testes já



existentes como tração, torção entre outros, para poder comprovar a sua aplicabilidade e confiabilidade (SZABADOS, 2012).

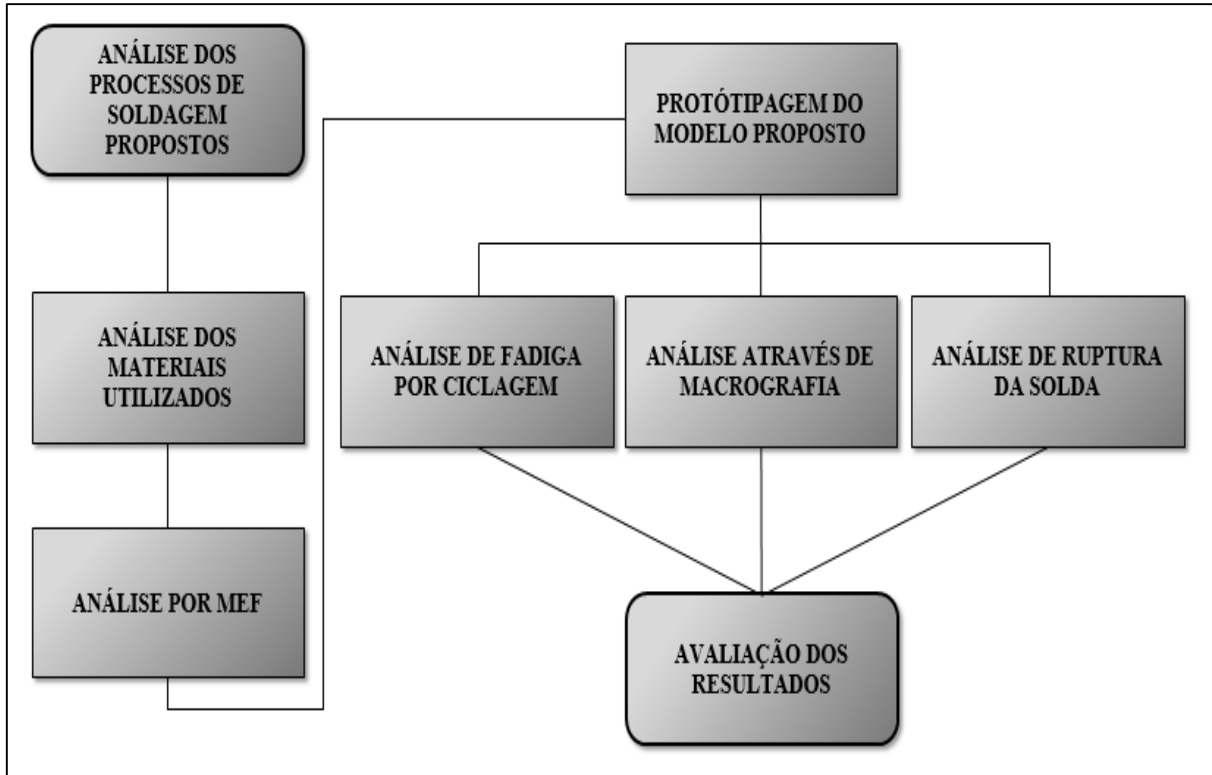
### 3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Atualmente na empresa, o patim HD é unido pelo processo de soldagem GMAW, e devido ao crescente volume de produção, existe a necessidade de soldá-lo pelo método de soldagem por projeção. Conforme já comentado no capítulo 2 (dois) é caracterizado por um processo de alta produtividade, observa-se que os recursos atuais da empresa, como máquinas de solda com projetos específicos para esta aplicação, têm disponibilidade para soldar este componente e colocá-lo em fluxo unitário com as demais operações subsequentes.

#### 3.1 METODOLOGIA

O trabalho desenvolveu-se por meio de uma metodologia proposta em testes e análises com protótipos manufacturados com o processo proposto de soldagem por resistência (RPW), conforme mostra o fluxograma na figura 14.

Figura 14 – Fluxograma para a metodologia



[Fonte: O próprio autor, 2014]

### 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização deste trabalho utilizou-se matérias-primas já homologadas pela empresa Master Sistemas Automotivos na manufatura dos componentes das sapatas de freios. Nas nervuras utilizou-se chapas de aço SAE 1030 modificado conforme norma SPEC B106-2 e nas coberturas utilizou-se chapas de aço SAE 1010 conforme norma SPEC B100-1A.

Estes aços são empregados atualmente na empresa para esta aplicação, devido a sua ótima soldabilidade e por atenderem todos as necessidades em termos de propriedades mecânicas.

Para garantir a composição química das amostras utilizadas, realizou-se uma análise química por amostragem através de um espectrômetro eletrônico (Figura 15). As análises foram realizadas no laboratório da qualidade da empresa Master Sistemas Automotivos.

Figura 15 – Espectrômetro eletrônico



[Fonte: Freios Master, 2014]

### 3.3 ANÁLISE POR MEF

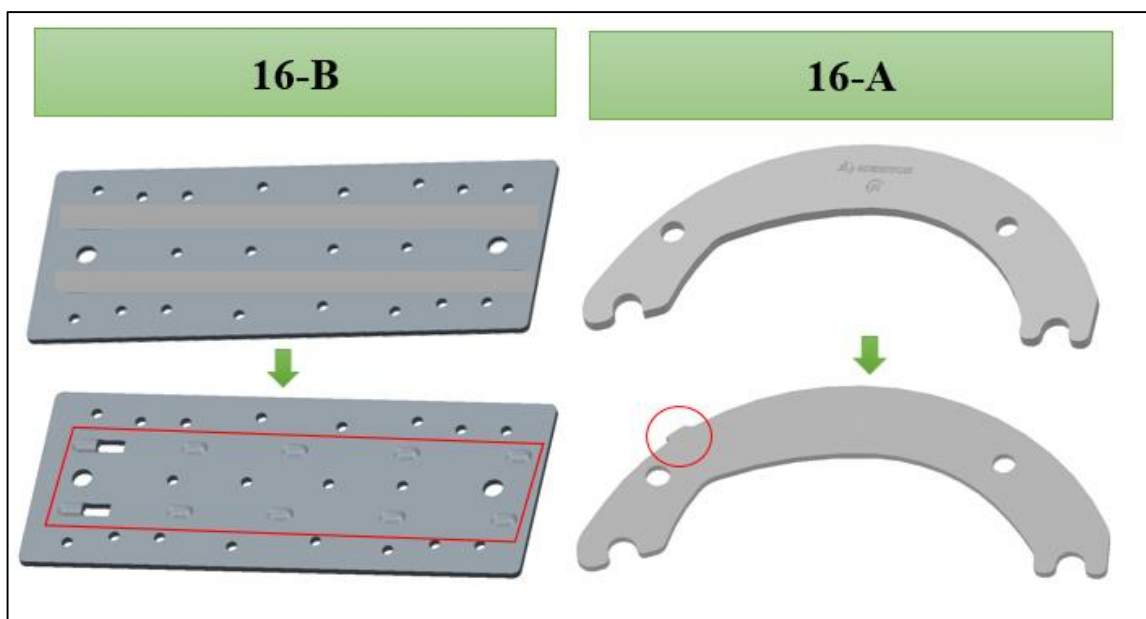
Para a realização da união dos componentes (nervura + cobertura) pelo processo proposto, fez-se necessário uma significativa modificação do projeto dos componentes, principalmente pela definição das pepitas as quais formarão o ponto de solda, conforme visto no capítulo 2.

Estas modificações iniciais do pré projeto passaram pela engenharia de CAE (*Computer Aided Engineering*) onde foram analisadas por MEF (Método dos elementos finitos) método que serve como estudo inicial, para comparar resultados obtidos experimentalmente em testes de campo e laboratório, para validação dos resultados obtidos.

#### 3.3.1 Geometria proposta

A empresa Master já possui *know how* no processo de soldagem por resistência (RPW) usado nos patins para aplicações maiores, desta forma utilizou-se este conhecimento para modificação do projeto das nervuras, as quais receberam o acréscimo das chavetas para tracionar a cobertura na hora da soldagem conforme figura 16-A. Também houve a modificação do projeto das coberturas, as quais recebem as pepitas e o encaixe das chavetas conforme figura 16-B.

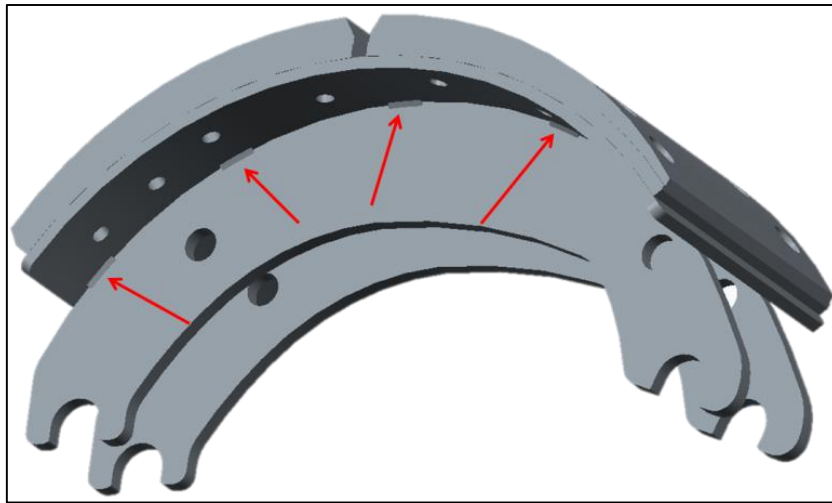
Figura 16 – Projeto modificado dos componentes



[Fonte: Adaptado de Freios Master].

Estas modificaciones foram referentes ao projeto para o processo de soldagem por projeção e também para adaptação na máquina de solda com processo semi automático. Por fim tem-se o modelo projetado em último nível conforme a figura 17, para ser submetido ao MEF, de onde foram retiradas informações fundamentais de sua conformidade à robustez da proposta do projeto, para prototipagem dos modelos.

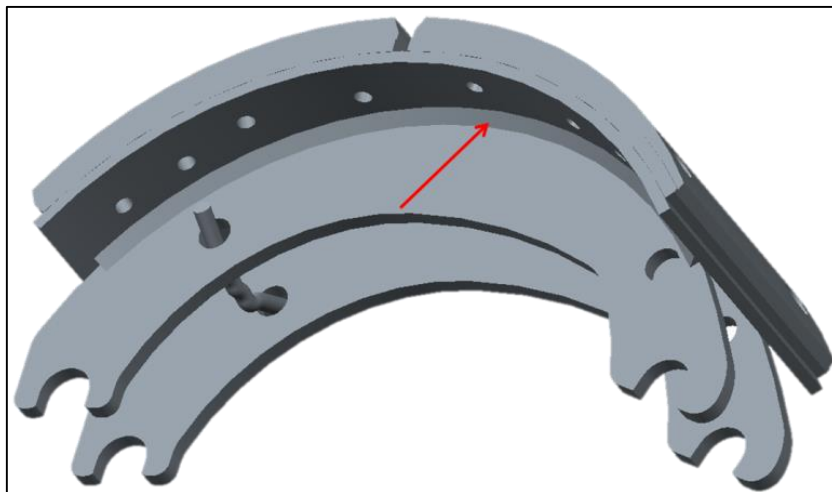
Figura 17 – Projeto proposto modelado (RPW)



[Fonte: Chiu, 2014].

Visando uma análise comparativa, modelou-se também o atual projeto do patim HD unido pelo processo GMAW, representado pela figura 18.

Figura 18 – Projeto atual modelado (GMAW)



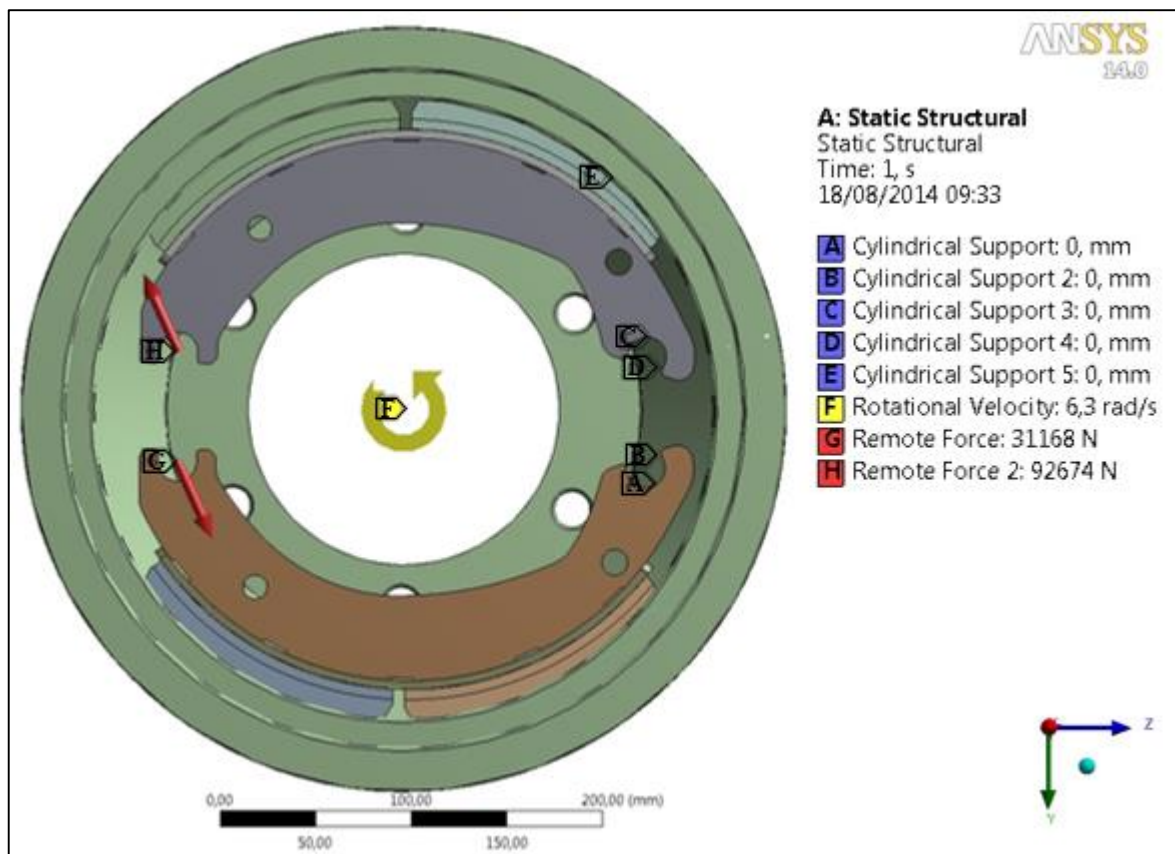
[Fonte: Chiu, 2014].

### 3.3.2 Análise dos resultados dos modelos

Após a definição da geometria proposta, iniciou-se a análise de CAE por MEF. Utilizou-se o software *ANSYS Workbench 14.0* para a análise comparativa, o modelo proposto (RPW) e o atual modelo (GMAW) foram importados do software *CREO Parametric 2.0* utilizado atualmente pela empresa Master (CHIU, 2014).

Realizou-se uma análise não-linear estática a qual modifica a matriz rigidez do conjunto deixando-a de ser constante, por ter sido considerado o atrito das lonas em relação ao tambor de freio (ponto E da figura 19), optou-se por uma análise não-linear devido à proximidade da análise com a realidade da aplicação do conjunto de freio. Colocou-se restrições na região da ancoragem (pontos A, B, C e D) onde tem-se movimentos limitados, permitindo apenas liberdade tangencial, e na região do came, região onde se tem a incidência das forças transmitidas pelo torque do eixo foram adicionadas as suas respectivas forças (pontos G e H), e por fim uma força rotacional que simula a rotação do tambor em campo (ponto F). Todas as restrições do conjunto estão indicadas conforme figura 19.

Figura 19 – Modelo para MEF



[Fonte: Adaptado de Chiu, 2014].



### 3.4 PROTOTIPAGEM DO MODELO RPW

Para a realização dos protótipos/corpos de prova para os testes propostos, utilizou-se a atual estrutura da empresa Master Sistemas Automotivos referindo-se ao maquinário com projeto específico para esta aplicação, utilizou-se uma máquina de solda projeção RWC de alta potência com 440 V bifásica, estruturada com dois transformadores de 600 kVA cada (Figura 20), a qual, atualmente é utilizada para solda projeção das sapatas utilizadas em aplicações maiores como mencionado no capítulo 2.

Figura 20 – Máquina de solda projeção RWC



[Fonte: Freios Master, 2014].

Para a concepção dos protótipos utilizou-se um dispositivo denominado rolo de solda (figura 21), o qual possui o raio de giro específico para a aplicação do patim HD. Ele mantém as nervuras alinhadas para receberem a cobertura, posicionando-as para receber o contato do eletrodo e formar o ponto de solda.

Estes rolos de solda são de uso específico deste maquinário, criado através de projetos especiais para cada aplicação.

Figura 21 – Rolo de solda HD



[Fonte: Freios Master, 2014].

Para esta aplicação utilizou-se parâmetros de solda, como energia de fusão, pressões do eletrodo, e tempo de soldagem similares às aplicações já existentes.

### 3.5 ANÁLISE DE FADIGA POR CICLAGEM

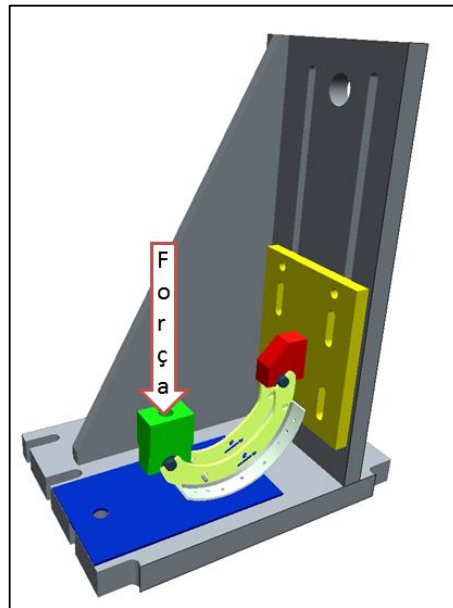
Para analisar o comportamento estrutural da geometria proposta e comparando-a a geometria atual, utilizou-se um teste já homologado e utilizado pela engenharia experimental da empresa Master Sistemas Automotivos, teste o qual passou por uma recente reformulação e atualização do método (SANTOS, 2014).

O teste refere-se à um ensaio nomeado de TP016, o qual é realizado por um dispositivo mecânico (Figura 22) com aplicação de uma carga através de um cilindro hidráulico.

Este teste foi realizado no campo de provas das empresas Randon, onde é manipulado por técnicos que atuam no local.



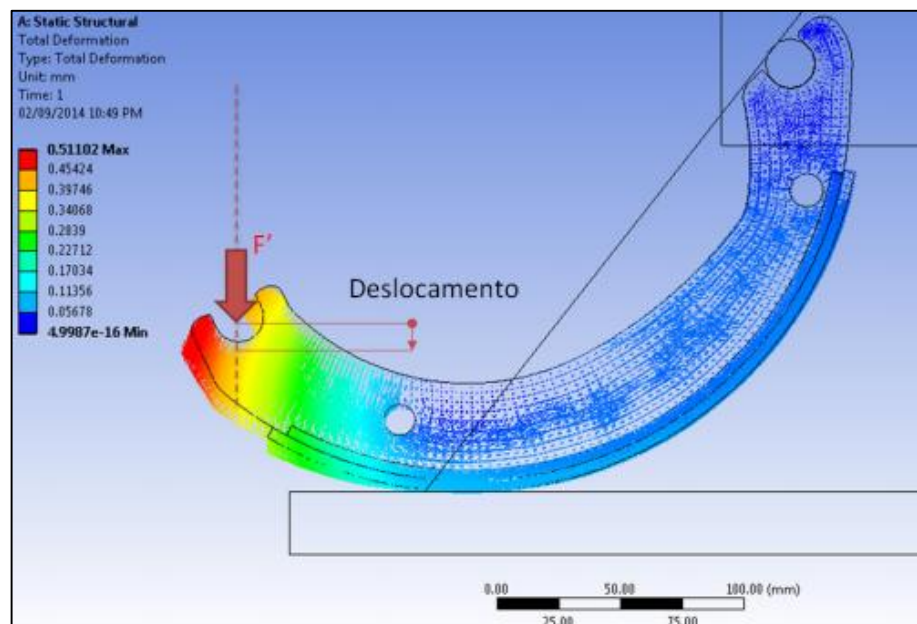
Figura 22 – Dispositivo de teste TP016



[Fonte: Santos, 2014].

Neste teste de fadiga por ciclagem utilizou-se a aplicação de uma força cíclica, convergindo para a realidade de campo, em uma situação de aplicação severa. Aplicou-se uma força de 2.300 kgf em uma frequência de 4 Hz, onde avaliou-se a durabilidade por meio da análise de vida finita. Neste teste também se avaliou a deflexão da sapata, através da medição do deslocamento do ponto onde é aplicada a força conforme figura 23.

Figura 23 – Medição do deslocamento



[Fonte: Santos, 2014].

### 3.6 ANÁLISE ATRAVÉS DE MACROGRAFIA

Para analisar as características das juntas soldadas por ambos os processos, foi utilizado um *software* inspetor de varredura eletrônica acoplado a uma lente da marca Metalab, conforme figura 24. Estes testes, assim como os corpos de provas foram fabricados no laboratório da empresa Master Sistemas automotivos.

Figura 24 – Inspetor de solda para ensaios de macografia



[Fonte: Master, 2014].

O ensaio de macrografia é normalizado pela ASTM E340, a qual determina a macroestrutura a ser visualizada e os reagentes para os materiais dos corpos de prova utilizados.

Atualmente, a empresa Master, utiliza o teste de macrografia para os processos de soldagem GMAW, o qual atende normas específicas, para fins comparativos ele também foi utilizado para análise de macrografia dos protótipos unidos pelo processo de soldagem RPW para análise dos contornos da junta e limites do ponto de solda fundido.

### 3.7 ANÁLISE DE RUPTURA DA SOLDA

Para analisar a geometria dos pontos de solda da sapata HD unida pelo processo RPW, realizou-se o teste destrutivo de ruptura da solda, teste já homologado pela empresa Master.

Este teste é atualmente utilizado somente para os patins unidos pelo processo RPW, para fins comparativos foi utilizado para avaliar a solda do patim unido pelo processo GMAW.

O teste de ruptura foi realizado com uma prensa hidráulica Markuse de 50 ton (figura 25), onde o corpo de prova é posicionado no dispositivo para receber uma carga vertical que realiza o desprendimento da cobertura em relação as nervuras, expondo a geometria dos pontos ou cordões de solda.

Figura 25 – Prensa hidráulica Markuse 50ton



[Fonte: Master, 2014].

Após a ruptura das soldas, todos os pontos de soldas foram comparados e analisados conforme especificação da norma Meritor 2297-X-2832 de 2008 (Anexo B). Este teste já é utilizado para os atuais processos de soldagem por projeção da empresa Master.

Para o teste de ruptura do patim unido pelo processo GMAW, utilizou critérios comuns para este tipo de processo, os quais prezam pela integridade da região unida pela solda, rompendo ao redor de seu contorno.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização de todos os testes e análises propostos, pode-se observar algumas características particulares de cada situação.

A seguir tem-se as avaliações de cada análise realizada, juntamente com os seus resultados, abordando cada uma de forma sucinta e explicativa.

### 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Após a efetivação das análises pelo espectrômetro, utilizou-se a tabela 4 para a análise comparativa dos resultados em relação a quantidade presente dos elementos de liga.

Na tabela 4 visualiza-se a comparação da composição química referenciada na norma em relação a composição química encontrada pela análise da composição das amostras (segunda linha de cada componente), as quais satisfizeram todas as condições propostas.

Tabela 4 – Análise da composição química (Norma x Análise)

		Carbono	Silício	Manganês	Fósforo	Enxofre	Cromo	Níquel	Cobre
<b>NERVURA (SAE 1030)</b>	Definição da norma	<b>0,27 - 0,34</b>	<b>0,17 - 0,37 máx</b>	<b>0,50 - 0,80</b>	<b>0,035 máx</b>	<b>0,035 máx</b>	<b>0,025 máx</b>	<b>0,030 máx</b>	<b>0,025 máx</b>
	Análise da composição	<b>0,272</b>	<b>0,207</b>	<b>0,632</b>	<b>0,015</b>	<b>0,005</b>	<b>0,014</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>
<b>COBERTURA (SAE 1010)</b>	Definição da norma	<b>0,07 - 0,12</b>	<b>0,10 máx</b>	<b>0,35 - 0,60</b>	<b>0,020 máx</b>	<b>0,015 máx</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>
	Análise da composição	<b>0,094</b>	<b>0,016</b>	<b>0,402</b>	<b>0,011</b>	<b>0,006</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>

[Fonte: O próprio autor, 2014]

Observa-se que para o aço da nervura SAE 1030 modificado há a adição de cromo, níquel e cobre apresentados nas últimas colunas da tabela. Tais elementos são controlados para garantia de uma melhor, temperabilidade, tenacidade e um bom desempenho em altas temperaturas. Utilizou-se a composição química da tabela 4 para calcular o carbono equivalente das amostras. As duas amostras, apresentaram valores abaixo de 0,40 (0,17 para a Cobertura e

0,39 para a Nervura) comprovando a sua alta soldabilidade, conforme método indicado na tabela 3.

## 4.2 ANÁLISE POR MEF

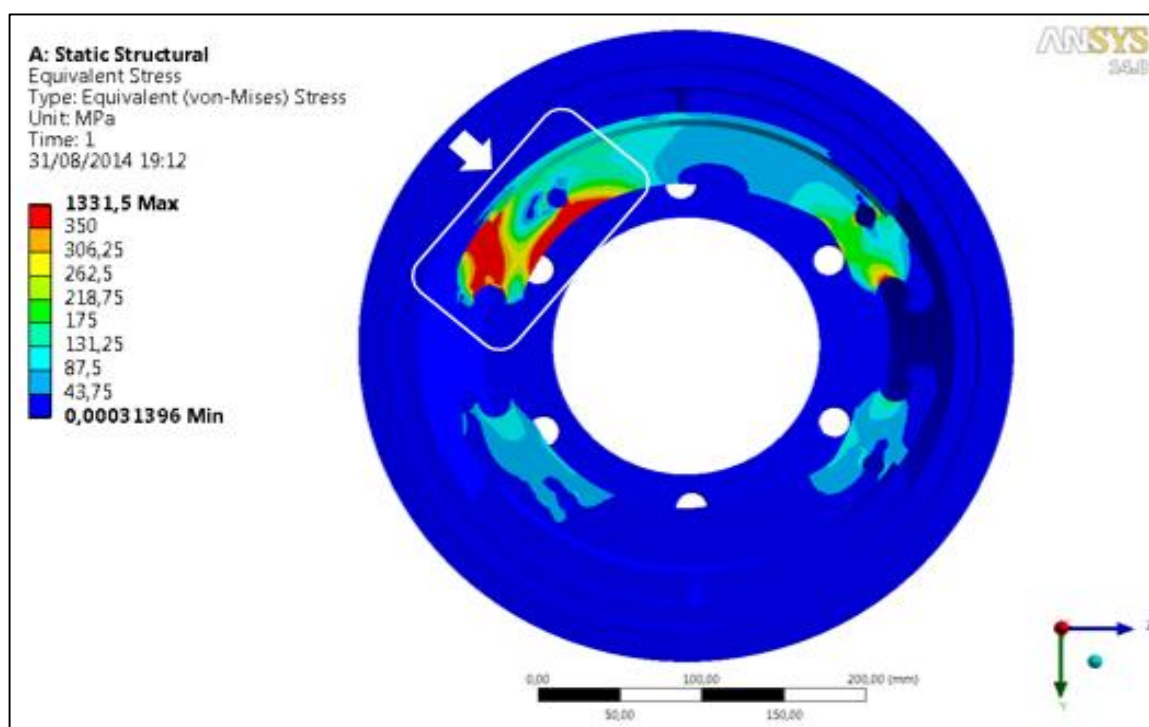
Com os modelos completos, Chiu (2014) realizou a análise por MEF do patim HD soldado pelo processo proposto (RPW) e pelo processo atual (GMAW).

Observou-se para os dois casos, que as maiores tensões foram encontradas na região do came do patim, onde há a incidência de uma força maior devido ao sentido de giro do tambor ser oposto ao acionamento do patim, como já previsto em outros resultados de testes da aplicação atual unida pelo processo GMAW.

### 4.2.1 Análise do modelo atual (GMAW)

Na análise do patim unido pelo processo GMAW pode-se observar a concentração das maiores tensões na região marcada pela cor vermelha, denominada região do came conforme figura 26.

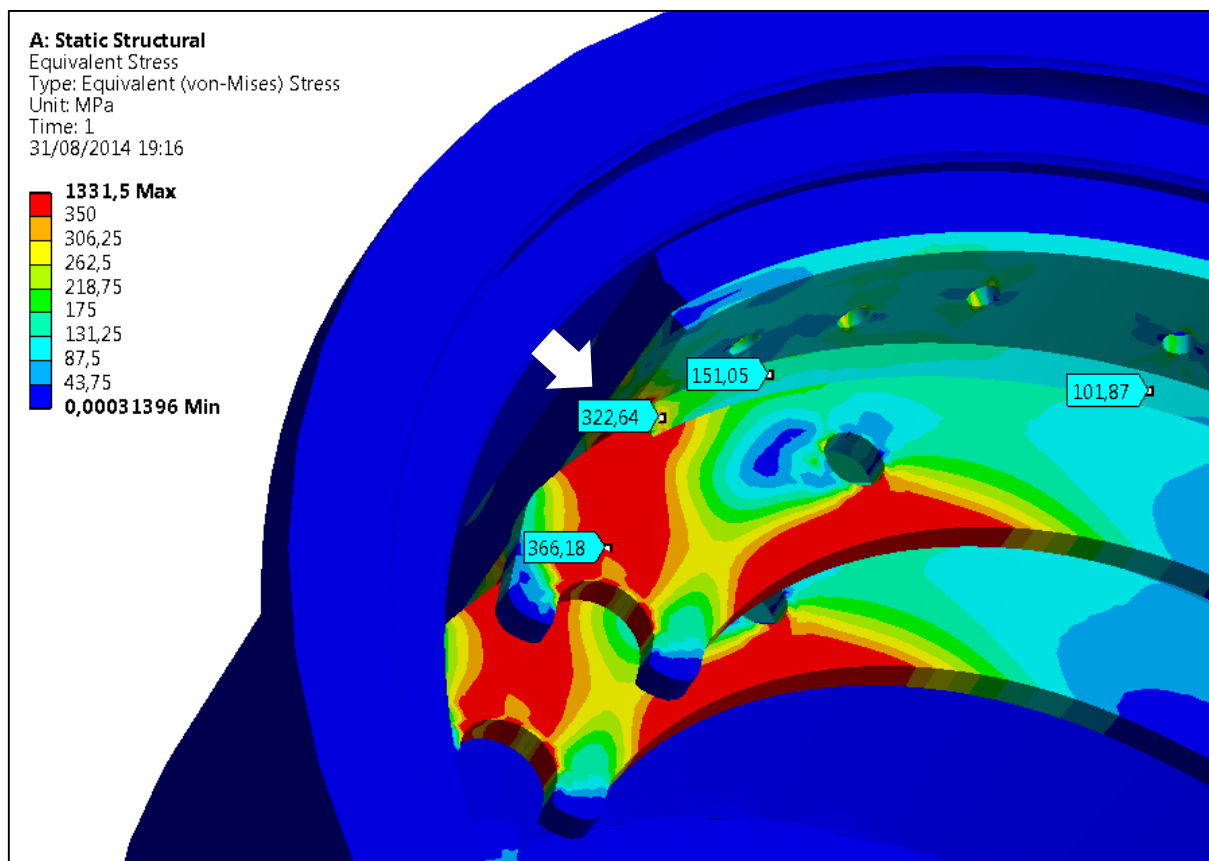
Figura 26 – Modelo atual (GMAW)



[Fonte: Adaptado de Chiu, 2014].

As maiores tensões encontradas na região do cordão de solda são de aproximadamente 322 MPa, como visualiza-se melhor no detalhe da figura 27.

Figura 27 – Principais tensões (GMAW)

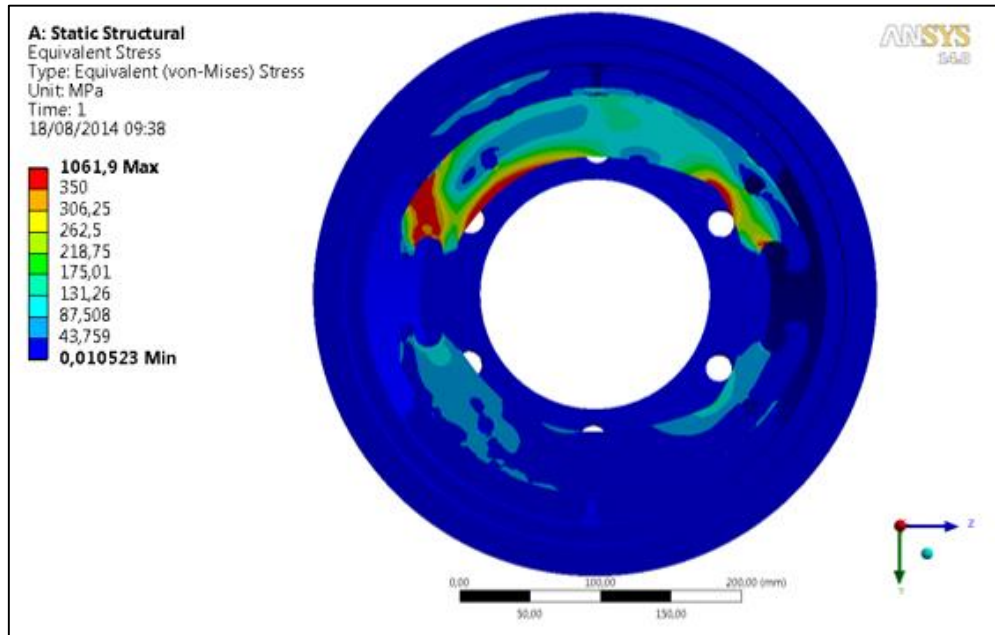


[Fonte: Adaptado de Chiu, 2014].

#### 4.2.2 Análise do modelo proposto (RPW)

Para a análise do patim unido pelo processo proposto (RPW), utilizou-se as mesmas condições de contorno e restrições do modelo unido pelo processo GMAW, porém neste caso tem-se uma pequena variação na distribuição das tensões. Visualiza-se uma distribuição uniforme das tensões ao longo dos pontos de solda. Para este caso também tem-se a concentração das maiores tensões na região marcada pela cor vermelha, denominada região do came conforme figura 28.

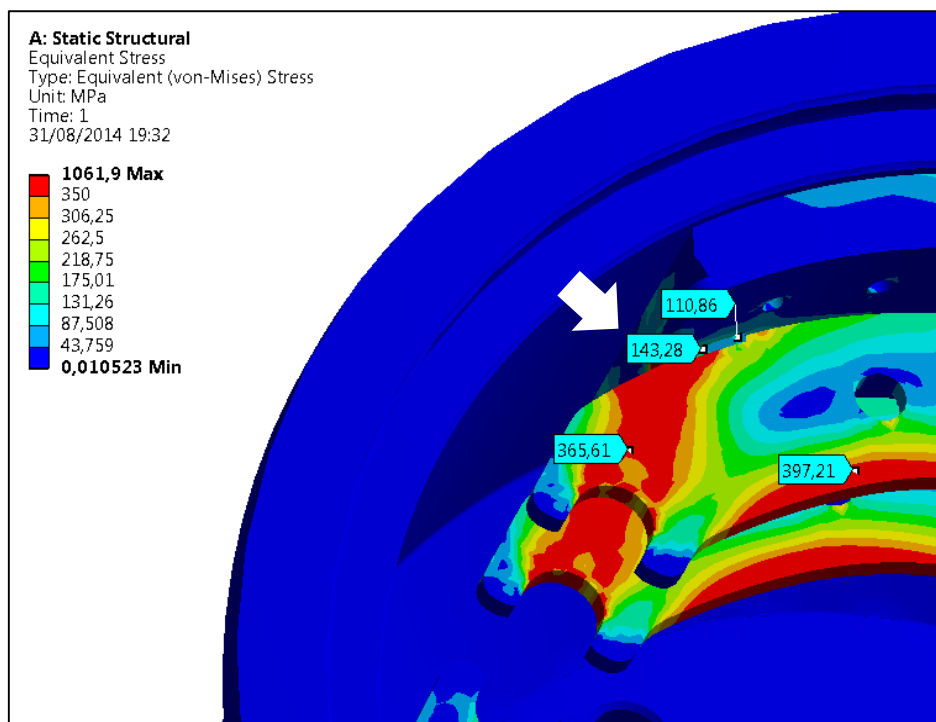
Figura 28 – Modelo proposto (RPW)



[Fonte: Chiu, 2014].

Na avaliação deste modelo as maiores tensões encontradas próximo a região da solda, foi de aproximadamente 145 MPa, localizadas principalmente próximo ao primeiro ponto, que se distanciou da região crítica, conforme visualizou-se na figura 29.

Figura 29 – Principais tensões (RPW)



[Fonte: Adaptado de Chiu, 2014].



Mostrou-se com esses resultados que as propriedades mecânicas dos materiais escolhidos assim como a geometria desenvolvida para o projeto satisfazem os requisitos de aprovação do modelo da sapata de freio atual unida pelo processo (GMAW), como também para o processo de soldagem proposto(RPW).

#### 4.3 PROTOTIPAGEM DO MODELO RPW

Realizou-se uma amostragem de produção, para prototipagem das peças, inicialmente para ajuste dos pontos de solda e parâmetros, onde teve-se dificuldades no ajuste da potência e na posição para cada um dos cinco pontos, devido a ter sido utilizado um programa de peças similares para iniciar os ajustes. As primeiras peças foram sucateadas devido a não conformidade com os requisitos. Após todos os ajustes iniciais finalizados realizou-se a amostragem desejada onde as sapatas foram unidas pelo processo RPW. Afim de aproveitar a disponibilidade dos recursos, realizou-se a soldagem de um lote de aproximadamente cem peças, onde visualmente mostraram-se em conformidade com os requisitos (Figura 30).

Figura 30 - Protótipo com o processo RPW



[Fonte: O próprio autor, 2014].



#### 4.4 ANÁLISE DE FADIGA POR CICLAGEM

Santos (2014) realizou os testes de ciclagem por fadiga dos patins de freio unidos pelos dois processos aqui estudados, e obteve resultados comparativos como dados de saída, conforme mostrado na tabela 5. Observou-se que todas as falhas ocorridas no fim da vida do teste das sapatas ocorreram na nervura, junto a região de acionamento do came, conhecida como uma região crítica como já prevista na literatura, porém nenhuma falha ocorreu em nenhum dos dois processos avaliados na região da solda. Os resultados de durabilidade são mostrados na tabela 5.

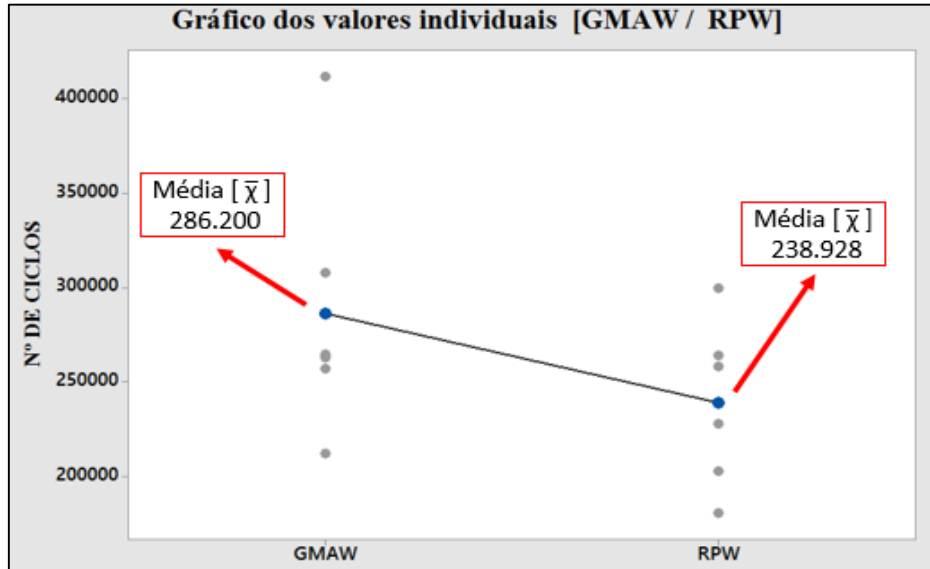
Tabela 5 – Teste comparativo de ciclagem

<b>PROCESSO DE SOLDA GMAW [MIG]</b>		
AMOSTRA	DURABILIDADE [ N° DE CICLOS]	DESCRIÇÃO DA FALHA
1	<b>257.439</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
2	<b>211.988</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
3	<b>264.737</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
4	<b>308.086</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
5	<b>412.187</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
6	<b>262.764</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
<b>PROCESSO DE SOLDA RPW [PROJEÇÃO]</b>		
AMOSTRA	DURABILIDADE [ N° DE CICLOS]	DESCRIÇÃO DA FALHA
1	<b>203.008</b>	Falha na nervura, na região da furação do fixador da mola.
2	<b>227.740</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
3	<b>264.266</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
4	<b>258.483</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
5	<b>180.504</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica
6	<b>299.565</b>	Falha na nervura, próxima a região crítica

[Fonte: Adaptado de Santos, 2014].

Para a análise estatística dos dados através do método ANOVA (*Analysis of variance*), afirma-se através do índice de probabilidade (0,186) maior que o valor da taxa de erro para comparações (0,05), que as médias de ciclos para falha, não são significativamente diferentes para os dois processos avaliados, conforme figura 31.

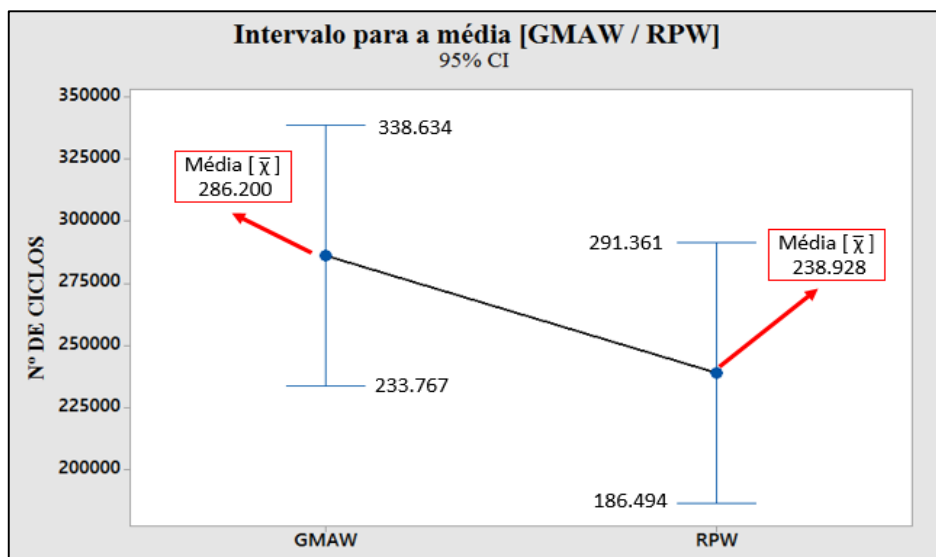
Figura 31 – Análise estatística ANOVA



[Fonte: O próprio autor, 2014].

Na figura 32, observou-se o intervalo para encontrar a média dos números de ciclos para os dois processos, com um intervalo de 95% de confiança.

Figura 32 – Intervalo para média 95% CI



[Fonte: O próprio autor, 2014].

Todas as falhas ocorridas nos patins, representaram fielmente os modelos matemáticos mostrados anteriormente na análise por MEF, conforme mostrado na figura 33 abaixo.

Figura 33 – Patim com quebra na região crítica



[Fonte: Chiu, 2014].

Os resultados de deflexão para a mesma amostragem de sapatas estão registrados na tabela 6. Onde observa-se uma pequena diferença nos deslocamentos comparando os dois processos avaliados, sendo o patim unido pelo atual processo de solda (GMAW) apresentou um deslocamento em torno de 7,9% maior que o proposto (RPW).

Tabela 6 – Teste de deflexão

AMOSTRA	$\Delta_{\text{máx}}$ [mm]	Varição [%]
GMAW [MIG]	1,4	<b>7,9%</b>
RPW [PROJEÇÃO]	1,3	-

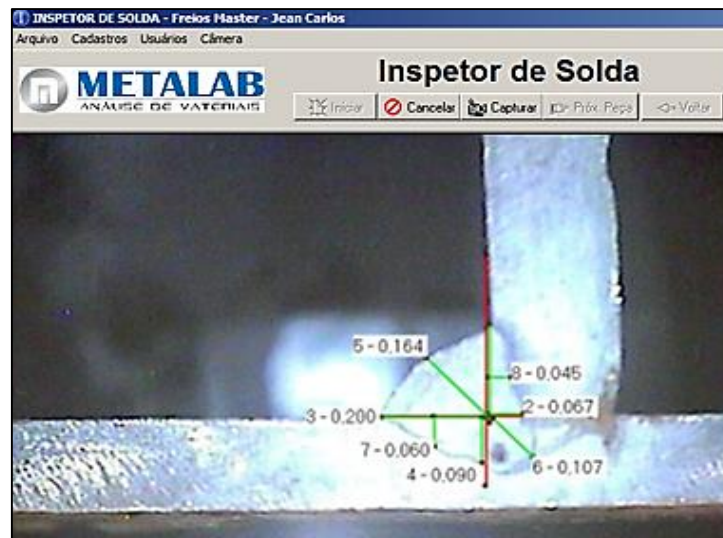
[Fonte: Adaptado de Santos, 2014].

#### 4.5 ANÁLISE MACROGRÁFICA

Após a realização da macrografia, foram obtidos resultados quantitativos e qualitativos da geometria das soldas pelo processo atual (GMAW) e pelo processo proposto (RPW).

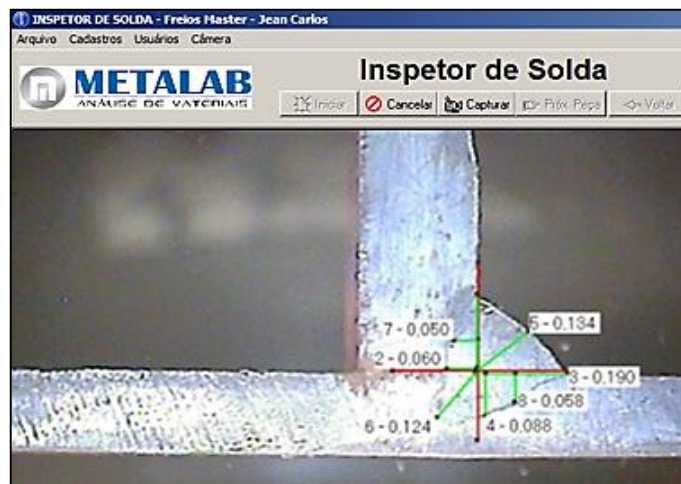
Pode-se observar como prática já homologada dentro da empresa Master Sistemas Automotivos, a macrografia dos patins soldados pelo processo GMAW, onde se tem todas as dimensões em polegadas, controladas pela norma MERITOR 2004, SPEC 802 (Anexo A) em conformidade com os requisitos, como dimensões de perna da solda, garganta da solda e avaliação de penetração da solda, para os dois lados da peça cortada (Figuras 34 e 35).

Figura 34 - Macrografia GMAW (seção lado esquerdo)



[Fonte: O próprio autor, 2014].

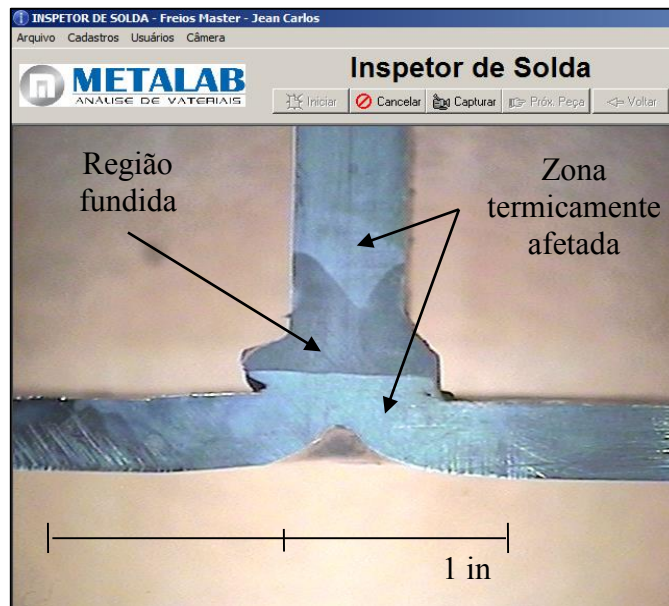
Figura 35 - Macrografia GMAW (seção lado direito)



[Fonte: O próprio autor, 2014].

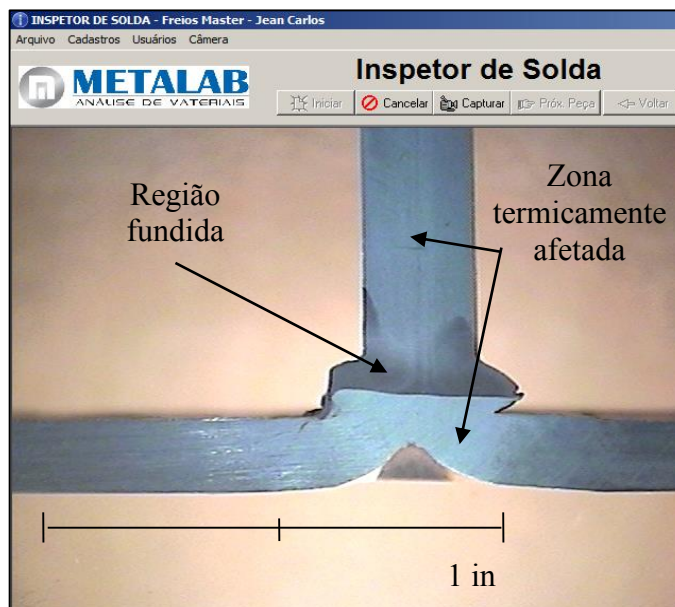
Para a macrografia dos patins unidos pelo processo RPW, pela norma Meritor não se tem medidas quantitativas para a região do ponto de solda, mas observou-se a zona afetada termicamente, onde aparece a linha que delimita a fusão dos dois materiais (nervura e cobertura), e visualizou-se a rebarba acumulada nas extremidades do ponto de solda, conforme figuras 36 e 37.

Figura 36 - Macrografia RPW (seção lado esquerdo)



[Fonte: O próprio autor, 2014].

Figura 37 - Macrografia RPW (seção lado direito)



[Fonte: O próprio autor, 2014].

Em nenhuma das análises de macrografia, foi visualizada a presença de descontinuidades na região da solda. No processo RPW observou-se um deslocamento em relação ao centro da nervura com a projeção, o que pode ter acarretado no excesso de rebarba, e no processo GMAW a junta soldada apresentou todos os requisitos em conformidade.

#### 4.5 ANÁLISE DE RUPTURA DE SOLDA

Após a realização do teste destrutivo para a região soldada dos patins, pode-se avaliar toda a extensão dos pontos e cordões soldados.

Para o patim unido pelo processo GMAW não há referências para o teste destrutivo na norma Meritor, porém pode-se observar a integridade da solda, onde rompeu-se a região do metal base no contorno da solda, até a fratura da nervura, conforme figura 38.

Figura 38 - Teste destrutivo GMAW



[Fonte: O próprio autor, 2014].

Para o teste destrutivo do patim unido pelo processo RPW, todos os requisitos seguem regidos pela norma Meritor 2008; 2297-X-2832, que qualifica de forma quantitativa e qualitativa todos os pontos de solda ao longo da nervura. Porém a norma trata apenas dos patins de maior capacidade, acima de 10 Ton, que tem 6 linhas de pontos de solda, e para esta aplicação proposta, tem-se apenas 5 linhas de pontos de solda, o que torna a norma de certa forma subjetiva para esta aplicação proposta.



Pode-se observar as nervuras arrancadas da cobertura, onde mostra todos os pontos de solda expostos para análise. Para a nervura esquerda (Figura 39) pode-se observar a conformidade em todos os pontos de solda, por apresentar a projeção completa sobre a nervura, mostrando a perfeição da fusão do ponto e garantindo todas as suas dimensões.

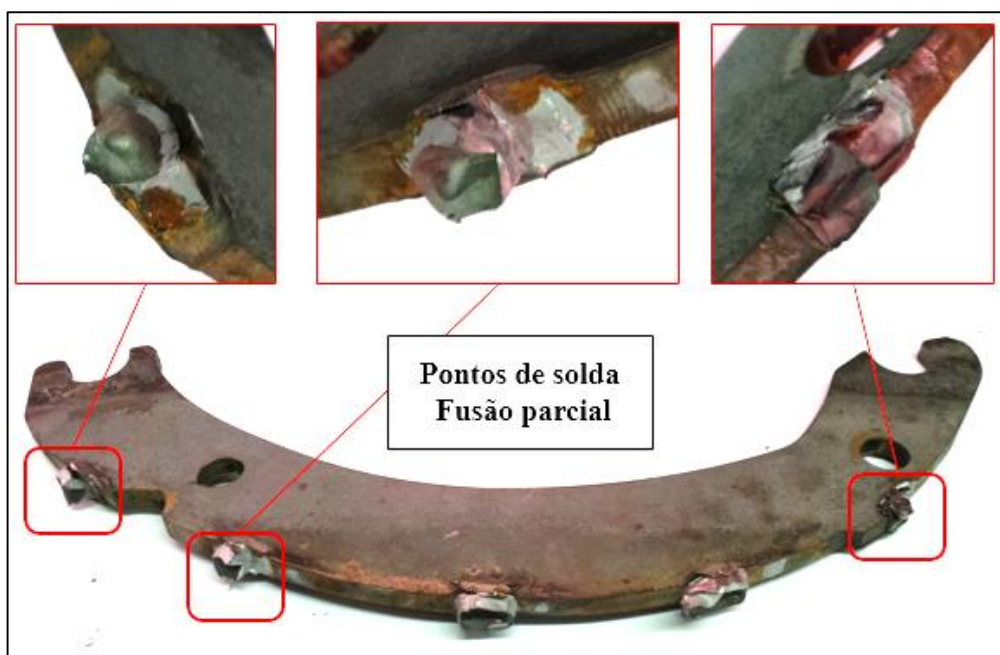
Figura 39 - Teste destrutivo nervura esquerda



[Fonte: O próprio autor, 2014].

Para a nervura direita (figura 40) pode-se observar uma variação nos pontos de solda, onde se têm alguns pontos de solda aderidos parcialmente, o que prejudica a sua completa união, porém isto pode ser facilmente ajustado utilizando uma variação nos parâmetros de solda, como energia de fusão e posição do ponto como já previsto na análise macrográfica.

Figura 40 - Teste destrutivo nervura direita



[Fonte: O próprio autor, 2014].

## 5. CONCLUSÕES

O referencial teórico sobre o patim de freio e os processos de soldagem serviu como base para o planejamento, execução e análise dos testes realizados.

A análise da composição química dos dois materiais (nervura + cobertura), mostraram conformidade com as normas, estando aptos para serem unidos por ambos os processos de soldagem.

As análises dos resultados obtidos através do MEF, mostraram que ambos estão em conformidade com os requisitos aceitáveis de níveis máximos de tensões dos materiais, identificando a mesma região crítica.

Após a manufatura dos protótipos, elaborados de forma fiel a geometria analisada por MEF, realizaram-se de forma comparativa os testes e análises dos resultados.

A análise macrográfica do processo GMAW, obteve-se valores que aprovam quantitativamente a junta soldada. Para o processo RPW, não tem valores a serem medidos, porém, observou-se de forma clara, as linhas da região de fusão do ponto de solda, unindo a nervura com a pepita da cobertura, união a qual não apresentou descontinuidades e falhas.

Os resultados dos testes de ciclagem por fadiga, mostraram que atingiu-se a vida finita dos patins em todas as amostragens avaliadas, com falhas na região crítica. A análise mostrou que não há diferenças significativas entre os dois grupos testados.

O teste de ruptura da junta soldada para o processo GMAW, resultou na ruptura do metal base até a fratura das nervuras, finalizando o teste. Isto comprovou, a integridade do metal de adição na junta soldada. Para o teste de ruptura do patim unido pelo processo de soldagem RPW, após o arrancamento das duas nervuras, observou-se, que a nervura um teve uma fusão completa em relação a pepita da cobertura, a nervura dois teve uma fusão parcial, o que acabou removendo parte do ponto no momento da ruptura (três pepitas de cinco), falha a qual pode ser facilmente corrigida, com o ajuste dos parâmetros.

Após a análise e avaliação de todos os resultados, pode-se afirmar, que o processo de soldagem proposto (RPW), atende todas as especificações técnicas para aplicação em campo.



## **TRABALHOS FUTUROS**

Realizar testes comparando o processo de soldagem RPW utilizando diferentes parâmetros para o ponto de solda.

Analisar e propor uma nova geometria para a nervura na região do came, visto os altos níveis de tensões na região crítica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASM. **WELDING BRAZING AND SOLDERING: Metals HandBook**. 6. ed. Ohio: ASM International, 1993.

AURES, José Enrique Vargas. **ESTUDO DA FORMAÇÃO, GEOMETRIA E RESISTÊNCIA DO PONTO NA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA: Uma abordagem estatística**. 2006. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Centro Tecnológico, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Gas Metal Arc Welding**. 2003. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/artigos/prosol18.pdf>>. Acesso em: 7 maio 2014.

BUNIATTI, Diego. **PROJETO DE OTIMIZAÇÃO DAS SAPATAS DE FREIO SAE 1030 MODIFICADO**. 2014. 1 v. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Centro de Ciências e Exatas, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

CHIU, O. J. **Análise comparativa pelo Método de Elementos Finitos das sapatas de freio 325 HD com solda projeção e solda MIG MAG**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós Graduação em Engenharia Automotiva) – Randon e Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

FORTES, Cleber. **SOLDAGEM MIG/MAG**. [S. I.]: Esab, 2005. 133 p. Apostila de Soldagem ESAB.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of vehicle dynamics**. Pensilvania: SAE International, 1992. 498 p.

HANDBOOK, Welding. **Resistance and Solid-State Welding and Other Joining Processes**. 7. ed. Miami: Aws, 1980. 459 p.

LIMPERT, Rudolf. **BRAKE DESIGN and SAFETY**. [S. I.]: Sae, 1992. 460 p.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Pallotti, 1996. 477 p.

MCDEVITT, Larry H. **Spot and Projection Welding Basics**. Welding Journal. Ohio, p. 81-83. 08 jul. 2012.

PETERSON, Warren; EDISON. **Projection Welding**. ASM HandBook, Ohio, v. 6, p.423-437, jun. 2011.

QUITES, Almir Monteiro. **Introdução à Soldagem a Arco Voltaico**. 2. ed. Florianópolis: Soldasoft, 2002. 352 p.

ROOKS, Brian. **Advances in resistance Welding for body-in-White**. Assembly Automation. South Cerney, p. 159-162. jun. 2003.

SANTOS, Roger Lusa. **Desenvolvimento de uma bancada de teste estrutural para comparação do processo de solda projeção e MIG MAG em freios à tambor**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós Graduação em Engenharia Automotiva) – Randon e Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

SCHNEIDER, Vinícius. **PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA SAPATA DE FREIO UTILIZANDO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL**. 2008. 1 v. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Centro de Ciências e Exatas, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2008.

SZABADOS, Fernando et al. **INSPECTION OF PROJECTION WELDED AUTOMOTIVE NUTS THROUGH B-SCAN ULTRASONIC ACOSTIC IMAGING**. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE TESTES NÃO DESTRUTIVOS, 18., 2012, Durban, Africa do Sul. **Anais...** . São Paulo: Conferencia Mundial de Testes Não Destrutivos, 2012. p. 1 - 10.

WAINER, Emilio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **SOLDAGEM: PROCESSOS E METALURGIA**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 494 p.

## ANEXO A – NORMA MERITOR 2004, SPEC 802

## Process Specification

**ArvinMeritor™**2135 West Maple Road  
Troy, MI 48064-7186**Specification: 802**  
**Revision Date: 4/5/2004**FILLET WELD SPECIFICATION FOR  
WELDED BRAKE COMPONENTS1. Scope

This specification is to establish welding requirements for brake components that require arc, MIG welds.

2. Related Specifications

This specification is to be used in conjunction with the following related weld specifications:

- AWS A3.0
- ANSI/AWS D1.1
- BS 5135
- DIN 8563 (Part 3)

3. Definition

All brake components that require welding are so designated on the part print drawing as SRC (Safety Related Components).

4. Definition of Terms For Fillet Welds

The following terminology and definitions are used in this process specification for the fillet welding processes. Refer to Figures A and B unless otherwise stated.

a. Base Member: The term "base" shall be used as a generic term used to identify the parent materials to be welded together.

b. Root of Joint: That portion of a joint to be welded where the members approach closest to each other.

c. Toe of the Weld: Edge of the weld and the base metal interface

d. Face of the Weld: Exposed surface of a weld on the side from which the welding was done.

e. Size: Length of theoretical right triangle sides

f. Weld Leg Length: Distance from the root of the joint to the toe of the fillet weld

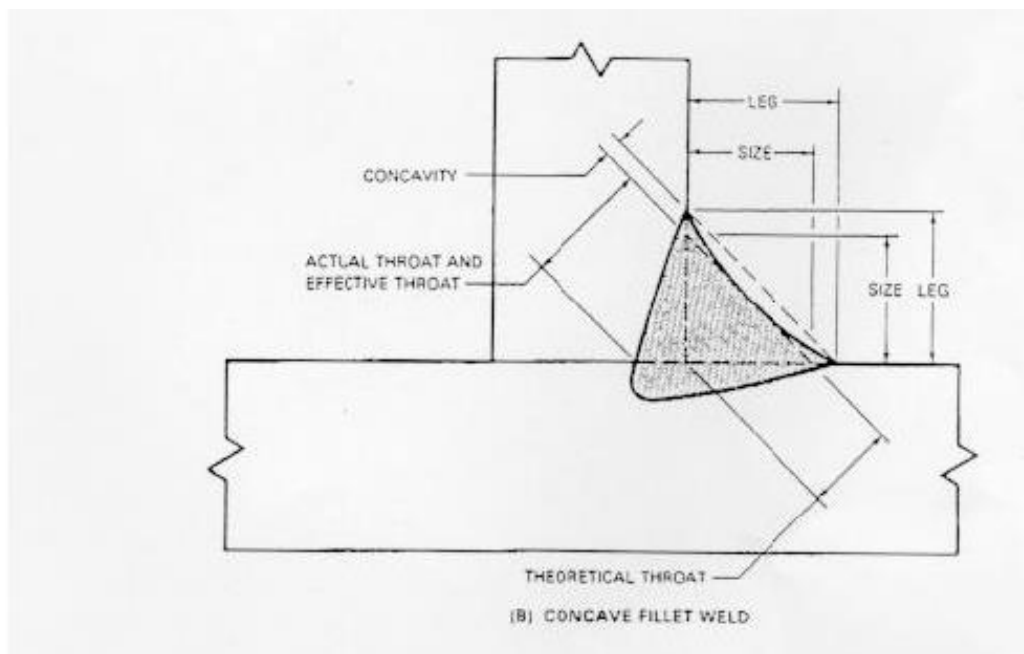
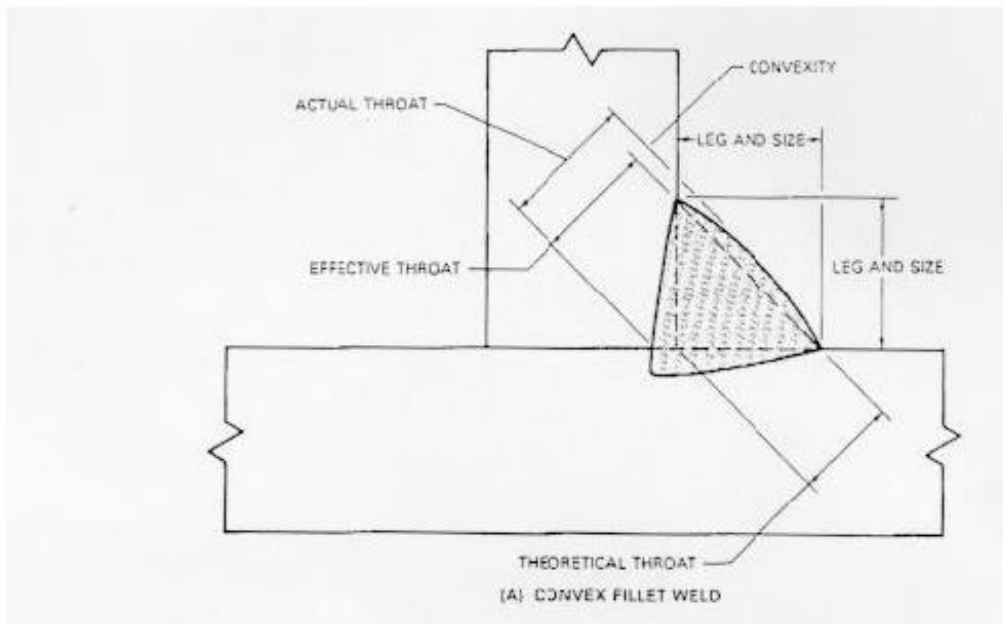
g. Theoretical Throat: Length from the root of the joint to the hypotenuse of the largest isosceles triangle that can be inscribed within the weld

# Process Specification

**ArvinMeritor**<sup>TM</sup>

2135 West Maple Road  
Troy, MI 48064-7186

**Specification:** 802  
**Revision Date:** 4/5/2004



## Process Specification

**ArvinMeritor™**

2135 West Maple Road  
Troy, MI 48064-7186

**Specification: 802**  
**Revision Date: 4/5/2004**

h. Effective Throat: Length of bonding at the intersection of the weld members to the theoretical triangle hypotenuse

i. Actual throat: Length of bonding at the intersection of the weld members to the face of the weld

j. Base Penetration: The depth a weld extends from the root of the joint into the base members

k. Convexity: The distance from the face of a convex fillet weld perpendicular to a line joining the weld toes. See Figure A.

l. Concavity: The distance from the face of a concave fillet weld perpendicular to a line joining the toes of the weld. See Figure B.

m. Toe Radius: The radius measurement where the toe of the weld blends (wets) into the base metal

n. Fillet Weld Undercut: Undercutting is a condition that results when the welding current or voltage is too high. The excessive energy level leaves a groove in the base metal along one or both sides of the weld bead which causes a stress riser.

### 5. Fillet Weld Requirements

All fillet welds must meet the requirements listed below:

5.1. Weld Leg Length: For a weld specification for chamber brackets of 1/4 inch, the minimum leg shall be 0.19 inches. Leg asymmetry shall not be greater than 1.6 times the shortest leg length. Weld leg length not to be measured through immediate start or end (crater) of weld length.

5.2. Effective Throat: The effective throat thickness shall be equal to or greater than 1.10 times the theoretical throat. The theoretical throat is equal to 0.134 inch for a 0.190 inch leg length.

5.3. Base Penetration (Fusion): The fillet weld metal shall be fused to the parent metal along the length of each leg. The depth of penetration shall be a minimum of 5% of the leg length at the weld mid-leg length, except for chamber brackets. For chamber brackets, the depth of penetration is 0.010 inch minimum, measured at the weld mid-leg length.

## Process Specification

**ArvinMeritor™**

2135 West Maple Road  
Troy, MI 48064-7186

**Specification: 802**  
**Revision Date: 4/5/2004**

5.4. Convexity: No convexity allowed at the toe(s) of the weld, except for cambracket assemblies with CBL less than 4 inches.

5.5. Concavity: The welds must exhibit concavity (wetting) at the toe of the weld, but still maintain the minimum Effective Throat Requirement.

5.6. Toe Radius: The weld toe must form a radius as it blends into the base member with no signs of undercut or notch condition, except cambracket assemblies less than 4 inches in length.

5.7. Visual Weld Defects: The welds must meet the minimum requirements listed below.

5.7.1. Fillet Weld Undercut: Undercuts in the fillet weld(s) are not permitted.

5.7.2. Porosity: No porosity at 1x magnification in the fillet is permitted.

5.7.3. Inclusion: No visible slag inclusions at 1x magnification are permitted in the fillet.

5.7.4. Cracking: The fillet weld(s) shall not exhibit any surface cracks when tested (checked) using magnetic particle or dye penetrant inspection.

### 6.0 Test Procedure

This test procedure for fillet weld inspection requires cross sectioning, polishing, and etching of the weld(s) made by each machine.

For HETT brackets at Oshkosh, the following procedure will be used. Welds of the initial machine setup will be cross-sectioned, polished, and etched to assure the weld quality and verify the process. Additional testing by fillet weld cross-sectioning will only be required if the process parameters are changed, i.e. a different wire or gas is to be used.

### 7.0 Test Frequency

The frequency of this test procedure shall be determined through regular quality planning activities, given consideration to the process FMEA.

For Meritor suppliers, general inspection and testing procedures will be submitted to the end user Quality Assurance Function.

## Process Specification

**ArvinMeritor™**

2135 West Maple Road  
Troy, MI 48064-7186

**Specification: 802**  
**Revision Date: 4/5/2004**

### 8.0 Deviation Request

A written deviation request shall be submitted for fillet welds that do not conform with this specification. Approval authorization in accordance with HVS Engineering Policies and Procedures 5-100-14 is required.

Date	Change
4/5/2004 Level E Request 23276-5	Added to Section 5.1: Weld leg length not to be measured through immediate start or end (crater) of weld length.
9/15/99 Level D Request 18892-1	Penetration depth exception made for chamber brackets in Section 5.3
4/15/98	Changed section 5.3 - weld mid-leg fusion was 10%
10/15/97 Level C	Major revision
4/15/96 Level B	Added 1X magnification in Section 6.6 & 6.8
10/15/94 Level A	Added test procedure for HETT in Section 7
10/15/89	Issued

Approved By: D. Donegan



## Process Specification

**ArvinMeritor™**

2135 West Maple Road  
Troy, MI 48064-7186

**Specification: 802**  
**Revision Date: 4/5/2004**

Chief Engineer - Materials Engineering

ANEXO B – NORMA MERITOR 2008, 2297 –X– 2832

ENGINEERING SPECIFICATION NO. 2297-X-2832

WELDING SPECIFICATION, FABRICATED BRAKE SHOES (ALL SIZES UP TO AND INCLUDING 17 1/4 DIAMETER)

THE PROJECTION WELD ON BRAKE SHOES SHALL COMPLY WITH THE FOLLOWING:

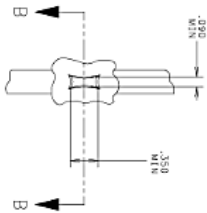
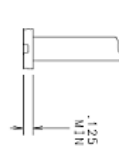
1. WHEN THE SHOE IS SUBJECTED TO A VERTICAL LOAD, A FULL NUGGET, AS DEFINED IN VIEW A AND SECTION B-B (SEE NOTE), SHALL REMAIN INTACT ON THE WEB FOR THE FIRST AND SECOND PROJECTIONS ON BOTH THE LEADING (ANCHOR) END AND TRAILING (CAM) END.

IN ADDITION, ON THE REMAINING PROJECTIONS, A PARTIAL NUGGET IS PERMITTED IF PRECEDED BY AND FOLLOWED BY A FULL NUGGET ON EACH WEB. A PARTIAL NUGGET MUST BE OF MINIMUM WIDTH AND HEIGHT SHOWN, BUT CAN BE LESS THAN THE MINIMUM LENGTH BY NOT MORE THAN 50%. (SEE NOTE)

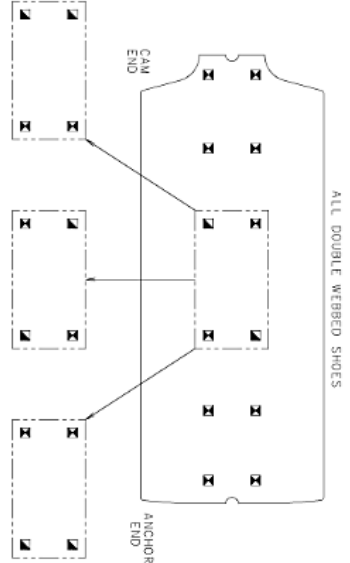
PROJECTION WELDS MUST VISUALLY EXHIBIT SOUND APPEARANCE AND MUST NOT EXHIBIT EXCESSIVE HEAT BLOW, OR UNDERCUT. DETERMINATION SHALL BE BY COMPARISON WITH THE BRAKE SHOE WELD INSPECTION AID. (SEE SHEET 3)

2. THE INSPECTION FREQUENCY SHALL BE DETERMINED BY EACH MANUFACTURING LOCATION BASED UPON THEIR CAPABILITIES AND IDENTIFIED ON THEIR RESPECTIVE CONTROL PLANS. IF ONE SHOE DOES NOT MEET THE ABOVE REQUIREMENTS, ALL PIECES MADE FROM THE LAST SUCCESSFUL INSPECTION MUST BE HELD FOR REWELDED (WITH NO EXCEPTIONS). THE MINIMUM REQUIREMENT FOR REINFORCE WELDING TO BE 1/29" TIELET 2" IN LENGTH ON THE INSIDE OF BOTH WEBS AND RESTRICTED TO THE AREA NOT MENTIONED IN THE STANDARD.
3. SALVAGE OR REMARK SHALL NOT BE ATTEMPTED ON DESTRUCTIVE SAMPLE PIECES.
4. EACH SHOE WELDMENT WILL BE PERMANENTLY DIE STAMPED FOR DATE (MONTH & YEAR) AND MANUFACTURING PLANT. LETTERS WILL BE 1/8" MINIMUM HEIGHT.

NOTE: WELD INSPECTION CRITERIA DEFINED ON BRAKE SHOE WELD INSPECTION AID. SEE SHEET 3



A FULL NUGGET IS DEFINED AS A COMPLETE DEPRESSION IN THE NUGGET AS SPECIFIED BY THE CRITERIA IN VIEW A



☒ FULL NUGGET  
☒ PARTIAL NUGGET



OPTIONAL VIEWS FOR ACCEPTABLE NUGGETS

VIEW	MINIMUM	MAXIMUM
1	1/2"	1/2"
2	1/2"	1/2"
3	1/2"	1/2"
4	1/2"	1/2"
5	1/2"	1/2"
6	1/2"	1/2"
7	1/2"	1/2"
8	1/2"	1/2"
9	1/2"	1/2"
10	1/2"	1/2"
11	1/2"	1/2"
12	1/2"	1/2"
13	1/2"	1/2"
14	1/2"	1/2"
15	1/2"	1/2"
16	1/2"	1/2"
17	1/2"	1/2"
18	1/2"	1/2"
19	1/2"	1/2"
20	1/2"	1/2"
21	1/2"	1/2"
22	1/2"	1/2"
23	1/2"	1/2"
24	1/2"	1/2"
25	1/2"	1/2"
26	1/2"	1/2"
27	1/2"	1/2"
28	1/2"	1/2"
29	1/2"	1/2"
30	1/2"	1/2"
31	1/2"	1/2"
32	1/2"	1/2"
33	1/2"	1/2"
34	1/2"	1/2"
35	1/2"	1/2"
36	1/2"	1/2"
37	1/2"	1/2"
38	1/2"	1/2"
39	1/2"	1/2"
40	1/2"	1/2"
41	1/2"	1/2"
42	1/2"	1/2"
43	1/2"	1/2"
44	1/2"	1/2"
45	1/2"	1/2"
46	1/2"	1/2"
47	1/2"	1/2"
48	1/2"	1/2"
49	1/2"	1/2"
50	1/2"	1/2"

APPLY SPECIFIED WELDER MARKINGS PER A.O. ENGINEERING STANDARD D-004	THIS PART IS COVERED BY A CONFIDENTIALITY AGREEMENT. NO DISSEMINATION OF THIS INFORMATION IS PERMITTED WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF MERITOR	DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE
DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE	DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE
DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE	DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE

DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE	DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE
DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE	DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE
DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE	DESIGNED BY: 308 TANGEL PROJECTION	SCALE: NONE

1	REDRAWN ON CAD	10/04/00	DD
2	ADDED WELD SIZE	8-21-07	
3	EXCEPT ITEM FOR ALL	10/05/07	
4	REVISION INSPECTION FREQU-	5/13/08	CR
5	ENCH NOTE #2		

S.R.C.

SHEET 1

MERITOR INC.  
 WELDING SPECIFICATIONS  
 FABRICATED BRAKE SHOES  
 ENGINEERING STANDARD D-004

**FIG. 1**  
**FULL NUGGET**  
**ACCEPTABLE**  
COMPLETE PULL OF TABLE MATERIAL ON WELD NUGGET FOR FULL NUGGET IS DISPLAYED IN THE NUGGET.



**FIG. 5**  
**QUESTIONABLE**  
EXCESSIVE FLASH AT END WELD POINT OF WELD TO BE CHECKED AND NUGGET TO CHECK FOR UNDERCUT (SEE FIGURES 6, 7, & 8)



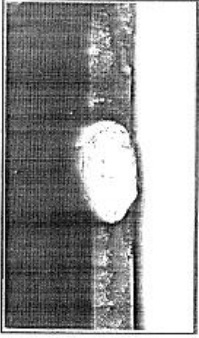
**FIG. 2**  
**HALF NUGGET**  
**OR GREATER**  
**ACCEPTABLE**  
A 1/2 NUGGET OR GREATER IS DEFINED AS 50% OR GREATER OF THE DIVERGED AREA INVOLVED.



**FIG. 6**  
**REJECTABLE**  
PROJECTION WELD WITH FLASH WHEN ROUND FLUSH TO WELD SURFACE SHOWS PROJECTIONS WHICH WOULD NOT CONTRIBUTE TO FATIGUE OF FACT.



**FIG. 3**  
**NO NUGGET**  
**REJECTABLE**  
TABLE MATERIAL DID NOT PULL AT ALL.



**FIG. 7**  
**ACCEPTABLE**  
PROJECTION WELD WITH FLASH WHEN ROUND FLUSH TO WELD SURFACE SHOWS ROUND CORNERED, ROUND BOTTOMED PROJECTIONS WHICH WOULD NOT CONTRIBUTE TO FATIGUE.



**FIG. 4**  
**REJECTABLE**  
EASILY DISINTEGRABLE UNDERCUT AT WEB.



**FIG. 8**  
**ACCEPTABLE**  
PROJECTION WELD WITH FLASH WHEN ROUND FLUSH TO WELD SURFACE SHOWS ROUND CORNERED, ROUND BOTTOMED NOTCH WHICH WOULD NOT CONTRIBUTE TO FATIGUE.



SECTION	REVISED INSPECTION FREQUENCY	CR
A RELEASE 2091-X-2832 SHEET 3 FOR PRODUCTION	104300 / 0	5/15/08
B REVISED INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
C INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
D REVISED INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
E INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
F REVISED INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
G INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
H INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
I INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
J INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
K INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
L INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
M INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
N INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
O INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
P INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
Q INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
R INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
S INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
T INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
U INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
V INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
W INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
X INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
Y INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08
Z INSPECTION FREQUENCY TO 2091-X-2832 SHEET 3	104300 / 0	5/15/08

THE PROJECTION WELD ON BRAKE SHOES SHALL COMPLY WITH THE FOLLOWING CRITICAL QUALITY CONTROL SPECIFICATIONS

1. WHEN THE WELD IS SUBJECTED TO A LOAD (PREL TABLE) THE WELD SHALL NOT BECOME CRACKED. THE CRACKS SHALL NOT BE LONGER THAN THE LEADING (ANCHOR) END AND TRAILING (END) END.
2. IN ADDITION, ON THE REMAINING PROJECTIONS, A PANTAL NUGGET IS PERMITTED (GREATER THAN 1/2" LONG) FOLLOWED BY A FULL NUGGET ON EACH END BY AND PROJECTIONS AND MUST NOT EXHIBIT EXCESSIVE HEAT BLOW OR UNDERCUT.
3. THE INSPECTION FREQUENCY SHALL BE DETERMINED BY THE CONTROL PLAN AND IDENTIFIED ON THE RESPECTIVE CONTROL PLAN. IF ONE SHIP OR ONE MORE FROM THE SAME SUCCESSFUL INSPECTION (S) OR THE WELDING METHOD OR INSPECTION METHOD OR THE WELDING METHOD OR INSPECTION METHOD IS CHANGED, THE WELDING METHOD OR INSPECTION METHOD SHALL BE RE-EVALUATED TO THE AREA NOT MENTIONED IN THE STANDARD.
4. SALVAGE OR REMARK SHALL NOT BE ATTEMPTED ON EACH SHIP, UNLESS IT WILL BE PERMANENTLY DISAPPEARING FROM THE CHURNING PLANT. LETTERS WILL BE 125 WINDOW HEIGHT.

ALL SIZES UP TO AND INCLUDING 17-1/4" DIAMETER

APPLY SPECIFIED WEIGHT		THIS PART IS MADE BY A CONTRACTOR		MATERIAL		METHOD	
WORKING PER A.O.		MATERIALS TO BE USED IN THIS PART SHALL BE REMOVED FROM THE SPECIFICATION		PROCESS		INSPECTION	
ENGINEERING STANDARD D-604		REVISIONS		REVISION NO.		REVISION DATE	
1		1	12-18-78				
DESIGNER: J. R. B.				CHECKED BY: J. R. B.		DATE: 12-18-78	
APPROVED: J. R. B.				DATE: 12-18-78			
DRAWN BY: J. R. B.				DATE: 12-18-78			
SCALE: 1:1				PART NO: 2091-X-2832		REV: 0	
SHEET NO: 3 OF 3				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
PART NO: 2091-X-2832				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
SHEET NO: 3 OF 3				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
DRAWN BY: J. R. B.				DATE: 12-18-78			
SCALE: 1:1				PART NO: 2091-X-2832		REV: 0	
SHEET NO: 3 OF 3				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
PART NO: 2091-X-2832				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
SHEET NO: 3 OF 3				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
DRAWN BY: J. R. B.				DATE: 12-18-78			
SCALE: 1:1				PART NO: 2091-X-2832		REV: 0	
SHEET NO: 3 OF 3				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
PART NO: 2091-X-2832				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	
SHEET NO: 3 OF 3				PART NAME: BRAKE SHOES		PART WEIGHT: 0.00	

