

## **ANÁLISE METALOGRÁFICA DE JUNTAS DE AÇO SAE 1020 E SAE 1045 SOLDADAS POR FRICÇÃO**

MOTTA FILHO, José Alfredo da <sup>1\*</sup>, NAPIVOSKI, Andrei <sup>2</sup>, DALCIN, Rafael Luciano <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: jf001321@fahor.com.br

### **RESUMO**

Um novo conceito passa a integrar os processos de soldagem, denominado Friction Stir Welding (FSW), ou solda por atrito. Este processo tem algumas vantagens quando comparados aos processos de soldagem por fusão, justamente por não necessitar de metal de adição, não gerar fumos nocivos e radiação, e também por ser um processo de fácil automação. O principal objetivo deste trabalho é realizar a união dos aços SAE 1020 e SAE 1045 pelo processo de soldagem por fricção. Portanto, para unir os materiais será utilizado um torno convencional, e mantido constante os parâmetros de rotação e tempo, em todos os experimentos realizados. Comparando-se as juntas soldadas do aço SAE 1020 com as juntas soldadas do aço SAE 1045, e apesar dos efeitos similares na zona afetada pelo calor (ZAC), aquelas soldadas com o aço SAE 1045 apresentaram melhor qualidade de união entre os materiais testados.

**Palavras chave:** Soldagem por fricção. Aço SAE 1020. Aço SAE 1045.

### **METALOGRAPHIC ANALYSIS OF SAE 1020 AND SAE 1045 STEEL FRICTION WELDED JOINTS**

#### **ABSTRACT**

A new concept comes to integrate the processes of welding, called Friction Stir Welding (FSW), or weld by friction. This process has some advantages when compared to the processes of fusion welding, precisely because it does not require addition metal, does not generate harmful fumes and radiation, and also because it is a process of easy automation. The main objective of this work is to joint SAE 1020 and SAE 1045 steels by friction welding process. Therefore, to weld the materials it will be used a conventional lathe, keeping the rotation and time parameters constant, in all experiments performed. Comparing SAE 1020 steel with SAE 1045 steel welded joints, and despite the similar effects in the heat affected zone (HAZ), those welded with SAE 1045 steel showed better bond quality between tested materials.

**Keywords:** Friction Stir Welding. Steel SAE 1020. Steel SAE 1045.

## INTRODUÇÃO

Na década de 40 surgiu a soldagem pelo método da fricção, devido à grande necessidade da tecnologia estabelecida pela segunda guerra mundial. Ao longo das décadas o processo foi se aprimorando e outras técnicas surgiram, possibilitando soldas mais complexas, e controles mais refinados (MATTEI, 2011). Esse processo une benefícios e vantagens decorrentes de processos tecnológicos, por não emitir gases nocivos e radiações (características dos processos de soldagem convencional por fusão) (GORNI, 2011).

A busca por esse método de união por fricção, está crescendo gradativamente pelo fato de não haver adição de outro material no processo, e por apresentar resultados benéficos ao material ou conjunto unido (QUITAISKI, 2014). Esse sistema de união acontece nos materiais em seu estado sólido, devido a energia térmica gerada pelo atrito entre duas peças ou dois materiais e uma pressão, formando uma deformação plástica dos materiais e ocasionando a união da junta (NEGRÃO, 2010).

Portanto, o objetivo maior deste trabalho é realizar a união dos materiais aço SAE 1020 e SAE1045 pelo processo de soldagem por fricção, mantendo-se constante os parâmetros de influência direta do processo (tempo e velocidade rotacional), e então, comparar as juntas soldadas através da análise metalográfica.

## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1.1 Fundamentos do processo de soldagem por fricção

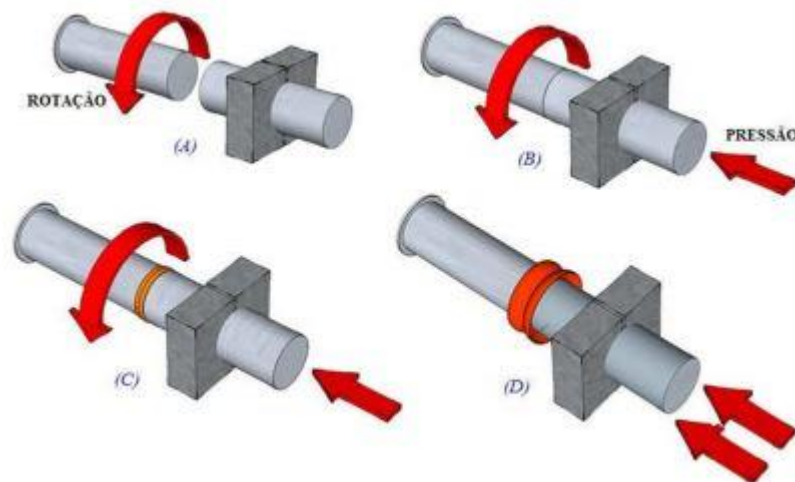
O processo de soldagem por fricção recebeu grande atenção nas últimas décadas e vem se destacando em diversas aplicações industriais, recebendo assim grandes investimentos em novas tecnologias. O processo de soldagem por fricção é classificado pela American Welding Society (AWS) como um processo de união no estado sólido cuja ligação é produzida a temperaturas menores do que a temperatura de fusão dos materiais base. Todo o aquecimento responsável pela união é gerado mecanicamente por atrito entre as peças a serem soldadas. Esse aquecimento ocorre devido a uma das peças que está fixa ser pressionada sobre a outra peça que está em alta rotação (ALVES; NETO; AN, 2010).

No processo de soldagem por fricção rotacional, pelo menos uma das peças a serem soldadas devem ser cilíndricas. O processo emprega um volante unido a um eixo giratório, de modo a armazenar a energia na forma cinética, antes que a soldagem seja iniciada. A outra peça não dotada de movimento giratório é pressionada a pressão moderada, contra a peça que

está em movimento giratório. A temperatura gerada pelo atrito entre as peças aumenta rapidamente até atingir a temperatura de forjamento, fazendo com que a peça se deforme plasticamente, o movimento giratório é interrompido e a pressão é rapidamente aumentada, ocorrendo o fenômeno solda por fricção. Esta técnica permite a soldagem de metais e ligas de materiais diferentes, por outro lado o calor que se origina é muito localizado e rapidamente dissipado, assim não necessitando de matérias de enchimento, pois ele possui sempre um ponto de fusão inferior aos dos outros materiais (CHIAVERINI, 1995).

Para Tsang (1994), o processo se divide em três partes, sendo fricção, aquecimento e forja. A etapa de fricção se caracteriza pelo aumento do torque após o primeiro contato, logo alcança o pico e diminui antes de estabilizar, marcando o fim desta etapa. A etapa de aquecimento, o torque mantém-se relativamente constante, assim alcança um equilíbrio por deformação e amolecimento devido ao aumento da temperatura que ocorre nessa etapa. Já na etapa de forjamento, inicia-se no instante em que o eixo é desacelerado, sendo aumentada a carga axial, o torque aumenta novamente, o pico do torque varia com a desaceleração e a força aplicada. A Figura 1 apresenta as principais etapas do processo de soldagem por fricção.

Figura 1: Etapas do processo de soldagem por fricção.



Fonte: Sbalchiero (2016).

### 2.1.2 Variáveis do processo de soldagem por fricção

É possível encontrar vários parâmetros relevantes no processo de soldagem por fricção, mas é impraticável saber quais são os parâmetros relevantes. De acordo com Machado (1996); Marques; Modenesi; Wainer; Bradi; Mello (2004); Bracarense (2009), existem alguns parâmetros mais importantes que se influenciam no processo de soldagem por

fricção. Entre eles estão: velocidade de avanço; velocidade de rotação; força de forjamento; tempo de aquecimento; formato do material.

A velocidade de avanço é definida como relação da distância percorrida entre a ferramenta e a peça por unidade de tempo (mm/min) ou entre peças. Interfere diretamente com a geração de calor durante o processo. Velocidades baixas implicam em maior calor e temperaturas elevadas. Já a velocidade de rotação está diretamente ligada a geração de calor durante o processo. Quanto maior a velocidade de rotação (rpm) maior será a temperatura atingida durante o processo, devido ao atrito da ferramenta com a peças ou entre peças de trabalho. A razão entre as duas velocidades (avanço e rotação) é um dos fatores chaves para otimizar os parâmetros de soldagem (MACHADO, 1996; WAINER; BRADI; MELLO, 2004 MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

A principal influência da força de forjamento é no aporte de calor do processo e é o parâmetro, que pode causar defeitos na junta soldada. Se a aplicação da força não for controlada adequadamente, pode levar a perda de qualidade da junta, e também, ao aparecimento de defeitos na superfície. O tempo de aquecimento é dado como o período desde o contato inicial das superfícies até a parada do eixo. É influenciado pela pressão axial e pela velocidade rotacional. Torna-se um dos detalhes mais importantes do processo de soldagem por fricção, devido à taxa de transferência de energia em forma de calor ser grande (MACHADO, 1996; WAINER; BRADI; MELLO, 2004 MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

O formato do material é um dos aspectos operacionais, que podem influenciar na realização do processo e na qualidade do processo de soldagem. Se a variação do tamanho das peças a serem soldadas forem excessivas, será difícil obter soldas de qualidade e confiabilidade, ou formação de muita rebarba (MACHADO, 1996; WAINER; BRADI; MELLO, 2004 MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

### **2.1.3 Propriedades mecânicas das juntas soldadas por fricção**

Soldas de alto desempenho podem ser realizadas pelo processo de soldagem por fricção, muitas vezes com propriedades iguais ou superiores à do metal base. Isso se dá pela relação de uma significativa alteração microestrutural, e que proporcionam variações nas propriedades mecânicas da solda. Porém, é importante atentar para que essas alterações dependam das condições de soldagem e do tipo de material que se está unindo (ALMEIDA, 2015).

Ericsson (2002) e Guerra (2003) comentam que o perfil de dureza se relaciona com as mudanças microestruturais da região do núcleo da solda, que lhe confere um aumento da resistência devido ao trabalho a quente e refinamento da granulometria, além de redução da formação de vazios. As soldas realizadas pelo método FSW apresentam bom desempenho em relação à fadiga, com base em estudos comparados com métodos de soldagem convencionais por fusão.

#### **2.1.4 Defeitos na soldagem por fricção**

Para se obter uma junta soldada por fricção, as escolhas de parâmetros do processo permitem que o mínimo de defeitos seja resultado da união, gerando melhor qualidade e melhores propriedades mecânicas. As quantidades de defeitos decorrentes do processo por fricção ou atrito são menores do que nos processos convencionais de soldagem por fusão. Alguns tipos de defeitos característicos do processo de soldagem por fricção são destacáveis: defeitos do tipo vazio; defeitos na raiz da solda; defeito superficial (JAMES, 2004).

Os defeitos do tipo vazio, geralmente, se manifestam como forma de canal longitudinal em direção de solda. Formados entre o núcleo da solda e a ZAC (Zona Afetada pelo Calor). Esses pequenos vazios também chamados de poros podem ser encontrados no interior do núcleo da solda. A possível causa, para o aparecimento deste defeito, está relacionada a uma pressão inadequada das peças a serem soldadas, e reporta a ocorrência pelas combinações de alta rotação com altos avanços (ALMEIDA, 2015).

O defeito na raiz da solda acontece geralmente quando uma penetração fica inadequada, por desalinhamentos. É considerado o defeito mais fácil de detectar por exame visual na peça. Já o defeito superficial é relacionado a rebarbas excessivas, defeito ou fenômeno que ocorre na superfície da solda. Seu menor efeito destrutivo em relação as propriedades mecânicas da solda, eles não costumam ser analisados. O problema está associado a um sobreaquecimento da solda (ALMEIDA, 2015).

#### **2.1.5 Vantagens e limitações do processo de soldagem por fricção**

Como em todos os processos de soldagem, por ser um processo em estado sólido, esse tipo de operação apresenta mais vantagens que limitações. A Tabela 1 apresenta as principais vantagens e limitações do processo de soldagem por fricção.

Tabela 1: Vantagens e limitações do processo de soldagem por fricção.

VANTAGENS	LIMITAÇÕES
Não necessita gás protetor.	Custo de equipamento e ferramentas.
Não necessita metal de enchimento.	Preparação e alinhamento das peças podem ser críticas
Não gera radiação, fumaças, e riscos com alta tensão.	Atrito e aquecimento podem não ser uniformes.
Operação simples e de baixo custo.	Limitado a soldagem de juntas.
Facilidade de automatizar o processo.	Área de uma peça deve ser simétrica para que possa girar sobre o eixo do plano de rotação.
Possibilita a união de metais dissimilares que são difíceis de serem unidos por outro processo.	

Fonte: Adaptado de Loureiro (2013).

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Metal base

Barras redondas com dimensões 15 mm x 55 mm do aço SAE 1020 e SAE 1045 foram utilizadas como metal base. A Tabela 2 apresenta a composição química dos materiais utilizados. As propriedades mecânicas dos materiais de base são mostradas na Tabela 3.

Tabela 2: Composição química dos materiais de base.

Metal base	Elemento químico (% em massa)		
	C	Mn	Si
Aço SAE 1020	0,18 - 0,23	0,40 - 0,60	0,30 - 0,60
Aço SAE 1045	0,43 - 0,48	0,60 - 0,90	0,30 - 0,60

Fonte: Adaptado de David (2014).

Tabela 3: Propriedades mecânicas dos materiais de base.

Metal base	Limite de resistência à tração (kgf/mm <sup>2</sup> )	Limite de escoamento (kgf/mm <sup>2</sup> )	Alongamento (%)	Dureza (HB)
Aço SAE 1020	45	25	24%	130 - 165
Aço SAE 1045	58	30	17%	165 - 225

Fonte: Adaptado de David (2014).

### 2.2.2 Preparação das amostras

As barras redondas do aço SAE 1020 e do aço SAE 1045 foram usinadas (até ficar com as medidas mencionadas no item 2.2.1) em um torno mecânico de 5 CV, equipado por 12 faixas de velocidades que variam de 80 a 2500 rpm e por um sistema de freio. A Figura 2(a) exhibe o torno convencional utilizado e a Figura 2(b) mostra a usinagem das amostras.

Figura 2: (a) Torno mecânico convencional; (b) Usinagem das amostras.

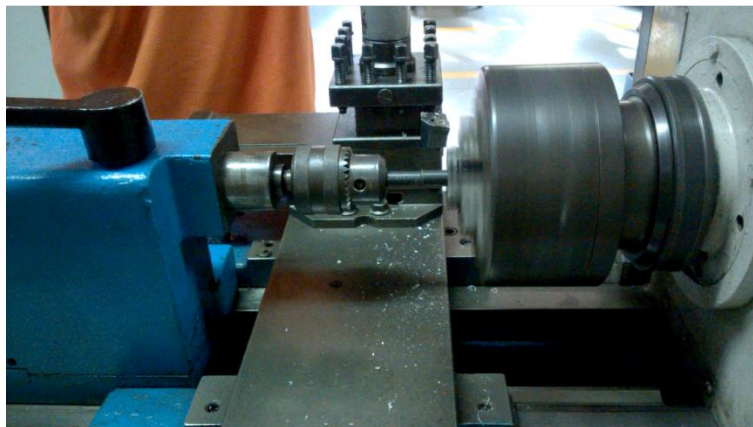


Fonte: Autores (2017).

### 2.2.3 Procedimentos de soldagem

As amostras foram unidas pelo processo de soldagem por fricção. Durante o método de união, uma peça foi fixada na contra ponta do torno e a outra no móvel fixo na placa. A velocidade de rotação da placa foi mantida em 1000 rpm, e o tempo de atrito entre os materiais foi de 60 segundos. Enquanto uma das peças foi acelerada pela unidade motora, a outra permaneceu avançada até ambas entrarem em contato por uma força de atrito. Após o tempo estipulado ser atingido, a unidade motora foi desconectada e a peça ficou em repouso por 8 segundos. A Figura 3 exibe como foi realizado o processo de soldagem dos materiais.

Figura 3: Peças posicionadas no torno durante o processo de soldagem por fricção.



Fonte: Autores (2017).

### 2.2.4 Caracterização das amostras

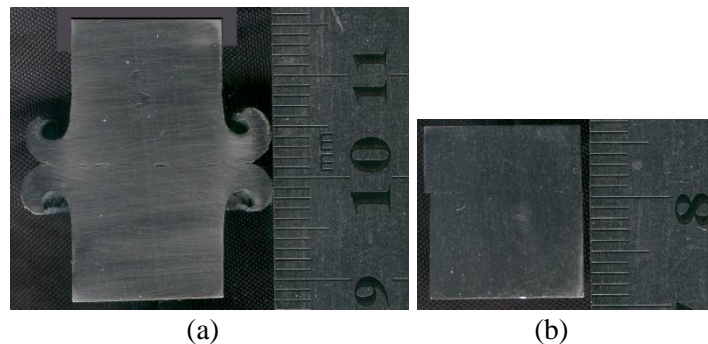
Duas amostras foram cortadas para os testes metalográficos. As amostras foram preparadas com lixas d'água de granulometria (120 a 600 mesh), alterando o sentido em 90°

em cada etapa do lixamento. Após o lixamento, as peças foram atacadas com Nital 3%, em tempos de aproximadamente 20 segundos. As macrofotografias das juntas foram registradas com um scanner e com uma lupa (microscópio de baixo aumento).

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 4(a, b) mostram os resultados obtidos após a corte e lixamento das amostras. A Figura 4(a) representa a junta soldada da aço SAE 1020, já a Figura 4(b) apresenta a junta soldada da aço SAE 1045.

Figura 4: Macrofotografia das juntas soldadas por fricção: (a) Aço SAE 1020; (b) Aço SAE 1045.



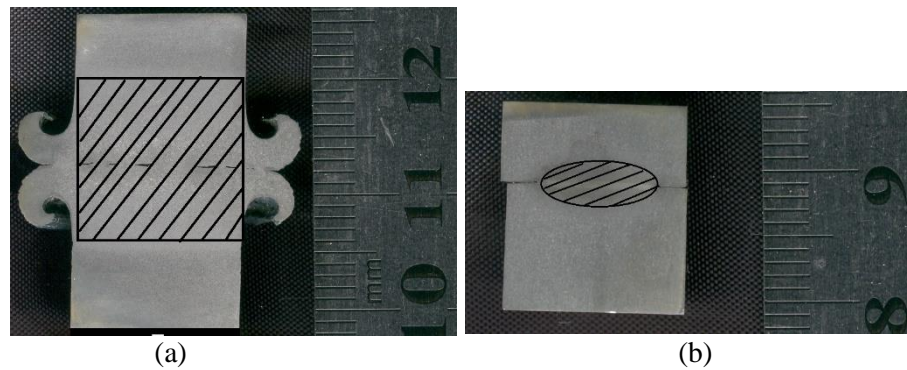
Fonte: Autores (2017).

Para Almeida (2015) a formação da rebarbas, Figura 4(a), também é considerado um defeito de superfície, porém, não é considerado um como fator de agravante. Almeida (2015) destaca que o principal causador da formação de rebarbas nas peças da Figura 4(a), deve-se pela distribuição da temperatura durante a soldagem, bem como, a quantidade de calor nas faces de contato, além das propriedades físicas dos materiais que foram unidos. Esse calor gerado é obtido pela consequência da transformação da energia mecânica em energia térmica. A temperatura é resultado da velocidade rotacional, pressão e tempo de permanência do contato dos materiais.

As Figuras 5(a, b) apresentam as macrofotografias apresentadas anteriormente, porém atacadas com Nital 3%. Nestas Figuras, verifica-se que a ZAC se torne maior do centro para as extremidades. Isso se justifica em função da taxa de resfriamento da junta soldada ser irregular nas diferentes regiões da peça.

Figura 5: Macrofotografia das juntas soldadas por fricção: (a) Aço SAE 1020; (b) Aço SAE 1045.

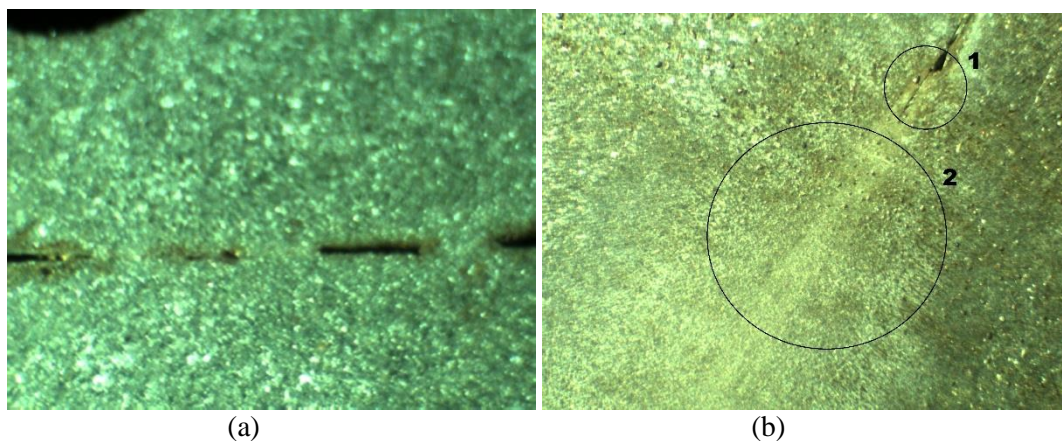




Fonte: Autores (2017).

A zona afetada pelo calor mostrada na Figura 5(a), é consequência do calor gerado na ligação e apresenta um aquecimento uniforme. Almeida (2015) comenta que quando a ZAC atinge somente a região central da peça, como no caso mostrado na Figura 5 (b), o processo não atingiu a temperatura máxima. As Figuras 6(a, b) apresentam as macrofotografias das juntas atacadas com Nital 3%, e revelada pela lupa (microscópio de baixo aumento).

Figura 6: Macrofotografia das juntas soldadas por fricção (ampliada em 50x) (a) Aço SAE 1020; (b) Aço SAE 1045.



Fonte: Autores (2017).

A Figura 6(a) apresenta falhas do tipo vazio na união dos materiais SAE 1020, que de acordo com Almeida (2015), a principal causa é decorrente de uma pressão de contato inadequado. Já a Figura 6(b), apresenta uma interação dos dois corpos de provas em seu centro (região 1), de forma homogênea. Entretanto, na região 2 é possível identificar o defeito de raiz. Almeida (2015) destaca que esse defeito, provavelmente, é ocasionado por um possível desalinhamento das peças.

## CONCLUSÃO

Através dos resultados apresentados neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser retiradas:

- Apesar de ter sido utilizado os mesmos parâmetros (velocidade de rotação e tempo de aquecimento), para a soldagem das amostras, observou-se diferenças na zona afetada pelo calor e diferentes de qualidade na união quando comparado as juntas soldadas do aço SAE 1020 com as do aço SAE 1045.
- As juntas do aço SAE 1020 soldadas por fricção apresentaram aspecto visual, relativamente, bom e alguns defeitos superficiais, que segundo Almeida (2015), pode ser desprezado para análises. Ao avaliar estas juntas soldadas no microscópio óptico, verificou-se a presença de defeitos do tipo vazio na linha de união dos dois materiais, além de pequenas trincas durante a extensão da peça. Isso, provavelmente, se justifica devido a pressão de contato entre as peças.
- As juntas do aço SAE 1045 soldadas por fricção, visualmente não apresentaram rebarbas como as do aço SAE 1020, o que tornou uma análise preliminar de que o processo não teria sido concluído com êxito. Ao analisar as juntas soldadas do aço SAE 1045 no microscópio óptico (lupa), verificou-se que a penetração e mistura das duas peças foi boa em seu centro, porém, nas extremidades da peça isso não ocorreu. Esse fato se justifica, pelo desalinhamento dos dois corpos de prova durante a soldagem.

Com base nos resultados obtidos e através das análises realizadas, é extremamente importante que parâmetros de soldagem sejam adequados, conforme especificações, de modo a evitar que variáveis secundárias (força de atrito, alinhamento das peças, rugosidade das superfícies das peças e pressão de contato) afetam os resultados.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. T. **Análise microestrutural e variação mecânica de juntas soldadas por fricção e mistura mecânica (FSW) da liga de alumínio 5182-0**. Dissertação pós-graduação de Engenharia Minas Metalúrgica e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.
- ALVES, E. P; NETO, F. P; AN, C. Y. **Soldagem da liga de alumínio 1050 com aço inoxidável 304 pelo processo de soldagem por fricção rotativa convencional**. São José dos Campos. São Paulo 2010.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**. Vol III. 2. Ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1995.

DAVID, F. H. S. **INC 0108 Efeito da taxa de resfriamento na constituição da perlita e nas propriedades mecânicas de aços comuns.** Revista iniciação científica. Centro Universitário Newton. Belo Horizonte, 2014.

DIAS, G. P. **Aplicação do processo de soldagem a ponto por fricção em estruturas aeronáuticas: otimização de parâmetros de processo e avaliação da integridade das soldas para a liga de alumínio 2198-T8.** Tese para obtenção do Título de Doutor em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ERICSSON, M. S. **Influence of Welding Speed on the Fatigue of Friction Stir Welds and Comparison with MIG and TIG.** International Journal of Fatigue. Julho 2002.

GORNI, A. A. **Soldagem de tubos de aço pelo processo de fricção linear.** Publicação revista Tubo & Cia, matéria de capa. Maio, 2011.

GUERRA, M. S. **Flow Patterns During Friction Stir Welding.** Materials Characterization 49. 2003.

JAMES, M. N. **The relationship between process mechanisms and crack in friction stir welded 5083-H321 and 5382-H321 aluminium alloys.** Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 2005.

LOUREIRO, A. **Friction Stir Welding: Process Parameters and Applications.** Portugal: FCTUC, 2013.

MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas: processos.** 1 ed. Porto Alegre: UFRGS, 1996.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia.** 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

MATTEI, F. **Desenvolvimento de equipamentos para estudo de soldagem por fricção.** Dissertação para obtenção do título de mestre de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

NEGRÃO, C. E. **Soldagem por fricção.** Trabalho de conclusão de curso, obtenção de Técnico de Nível Médio em Metalurgia. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. São Paulo, 2010.

QUITAISKI, A. J. **Análise da aplicação do método de soldagem por fricção em um torno mecânico convencional.** Horizontina, 2014.

SBALCHIERO, J. A. **Substituição da soldagem MAG por soldagem por fricção em tubos hidráulicos.** Porto Alegre, 2016.

TSANG, S. **Friction Welding.** Disponível em: ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering. United States: ASM International, 1994. v. 6, cap.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. de. **Soldagem: Processos e metalurgia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004.