

# AVALIAÇÃO DO PRÉ-AQUECIMENTO E DA APLICAÇÃO DE MULTIPASSES NA SOLDABILIDADE DO AÇO SAE 1070 SOLDADO COM O PROCESSO GMAW\*

Vitor Canesso Gonçalves<sup>1</sup>  
Maria Mariana S. Ferreira<sup>2</sup>  
Aderci de Freitas Filho<sup>3</sup>  
Ivan José de Santana<sup>4</sup>

## Resumo

A soldagem GMAW é um dos mais promissores processos de união, não só devido às características inerentes ao processo, tais como produtividade e capacidade de automação, mas também por possibilitar, mediante o ajuste correto das variáveis, repetitividade e qualidade. Entretanto, a soldagem de aços de médio e alto teor de carbono ainda demanda superação de desafios, principalmente em relação à determinação das variáveis mais adequadas para a obtenção de microestruturas e propriedades específicas. Diferentes aportes térmicos e ou taxas de resfriamentos afetam diretamente as propriedades finais da junta soldada, podendo comprometer a integridade do componente. Sendo assim, a utilização de pré-aquecimento e ou pós aquecimento, assim como a utilização de multipasses pode ser uma boa opção. O trabalho proposto busca avaliar a influência da temperatura de pré-aquecimento e a aplicação de soldagem multipasses em um aço SAE1070. A microestrutura da junta soldada, assim como a morfologia e extensão da ZTA foram caracterizadas com e técnicas metalográficas e as propriedades mecânicas com ensaios de micro dureza Vickers. Os resultados obtidos permitem a correlação da temperatura de pré-aquecimento e a aplicação de soldagem multipasses com as microestruturas obtidas, assim como a construção de diferentes perfis de microdureza e avaliação da ZTA.

**Palavras-chave:** Aporte térmico na soldagem; Procedimento de multipasses; soldabilidade aço SAE 1070, temperatura de pre-aquecimento

## EVALUATION OF PREHEATING AND MULTIPASSES PROCEDURES ON A WELDED SAE 1070 STEEL JOINT

### Abstract

The GMAW process is one of the most promising union methods, not only due to the inherent characteristics of the process but also as it allows high productivity and mechanization of the process. Furthermore, with certain variables set up the welded joint will develop optimal properties. However, the welding procedure of medium and high carbon steels presents obstacles to be overcome, especially when it comes to setting the optimal parameters to obtain microstructure and properties as demanded. Different heat inputs and cooling rates directly affect the final properties of the welded joint, which may compromise the component's integrity. Hence, the use of preheating, post heating and multipasses might be a viable option. The proposed work intends to evaluate the influence of different preheating temperatures and the use of multilayer procedure on a AISI 1070 steel. The joint's microstructure was analyzed via metallographic techniques and its mechanical properties were assessed by Vickers micro hardness. The results allow to propose a correlation between the preheating

temperature and the use of multilayer procedure to the distinct microstructures obtained, as long as the development of micro hardness profiles and the evaluation of the HAZ. .

**Keywords:** Welding heat input; Multipass procedure; Weldability SAE 1070, pre heating temperature.

<sup>1</sup> *Engenheiro de Materiais, Estudante, DEMAT, CEFET MG, Belo Horizonte, MG Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheira de Materiais, Estudante, DEMEC, UFMG, Belo Horizonte, MG Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Mecânico, Mestrando, Professor, DEMAT, CEFET MG, Belo Horizonte, MG Brasil*

<sup>4</sup> *Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, DEMAT, CEFET MG, Belo Horizonte, MG Brasil*

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem GMAW é um dos mais importantes para a fabricação de peças e na montagem de conjuntos mecânicos, podendo ser aplicado em materiais ferrosos e não ferrosos. Isto se deve principalmente à sua versatilidade, produtividade relativamente elevada, confiabilidade, facilidade de utilização e automatização. As principais variáveis do processo são: o nível de corrente elétrica e a sua polaridade, a tensão, o diâmetro e a composição do arame, o comprimento do arco, a distância entre o bico de contato e a peça (DBCP) e a composição do gás de proteção [1, 2, 3, 4 e 5].

No entanto, a definição correta dos parâmetros de soldagem, os quais são interdependentes, se torna um desafio. Além disso, há procedimentos que podem ser realizados com objetivo de melhorar a soldabilidade do material e também promover alterações no ciclo térmico imposto no intuito de definir a microestrutura obtida. Tais procedimentos podem ser subdivididos em tratamentos térmicos [5], pré-aquecimento e pós-aquecimento, além do uso da técnica multipasses. Estes procedimentos visam minimizar os problemas devido à formação fases metaestáveis e o desenvolvimento de uma rede de carbonetos extremamente frágeis na zona fundida (ZF), zona parcialmente fundida (ZPF) e zona termicamente afetada (ZTA) [1, 2, 3, 4 e 5].

A utilização dessas técnicas permite reduzir o gradiente térmico formado entre a região soldada, com picos de temperatura acima da temperatura de fusão, e as regiões adjacentes, que, em geral, permanecem com temperaturas próximas à ambiente. Desta forma, previne a formação de trincas, reduzindo as tensões residuais e as distorções e diminuindo as taxas de resfriamento. Por outro lado, pode possibilitar o aumento da zona fundida e da zona termicamente afetada [5 e 6].

Nesse sentido, a soldagem de aços de médio e alto teor de carbono ainda demanda uma série de desafios, principalmente em relação à determinação das variáveis mais adequadas para a obtenção de microestruturas e propriedades específicas. De acordo com a NBR NM 172:2000, o aço AISI 1070 é um aço para uso em componentes que demandam resistência ao desgaste abrasivo e construção mecânica, ou seja, é amplamente utilizado na fabricação de componentes mecânicos depois de realizado tratamento térmico adequado, sendo utilizado em eixos, peças forjadas, engrenagens e componentes estruturais de máquinas e trilhos. Além disso, a depender da finalidade, deve possuir controle rigoroso quanto a tolerâncias dimensionais e acabamento superficial adequado [7, 8 e 9].

Martinez et. Al. Analisaram os efeitos do uso de procedimentos de pré-aquecimento, pós-aquecimento e uso da técnica multipasses sobre as propriedades físicas e mecânicas de uma junta soldada. O pré-aquecimento foi responsável por um aumento no tamanho da zona termicamente afetada, o que pode resultar em uma melhor distribuição de tensões e solicitações na junta. Foi observado que os tratamentos térmicos pós-soldagem resultaram em um aumento significativo, em torno de 14% da dureza apresentada na ZTA [10].

O trabalho proposto busca avaliar a influência da temperatura de pré-aquecimento e a aplicação de soldagem multipasses em um aço SAE1070. A microestrutura da junta soldada, assim como a morfologia e extensão da ZTA foram caracterizadas com e técnicas metalográficas e as propriedades mecânicas com ensaios de micro dureza Vickers. Os resultados obtidos permitem a correlação da temperatura de pré-aquecimento e a aplicação de soldagem multipasses com as microestruturas obtidas, assim com a construção de diferentes perfis de micro dureza e avaliação da ZTA.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

#### Utilização de dispositivo fixador e corpos de prova

Foi utilizado um dispositivo para fixação dos corpos de prova no intuito de simular o resfriamento de estruturas de grande porte. O dispositivo, ao atuar como um trocador de calor aumenta a taxa de resfriamento do processo, resultando em zonas termicamente afetadas (ZTAs) mais próximas das situações reais e conseqüentemente, possibilitando uma análise mais completa das conseqüências causadas por alterações dos parâmetros de soldagem (Figura 1).



Figura 1. Dispositivo fixador de corpos de prova

Os corpos de prova (Figura 2) foram usinados a partir de um trilho de correias transportadoras, adquirindo um formato de paralelepípedo com um chanfro em V ao longo de seu comprimento.

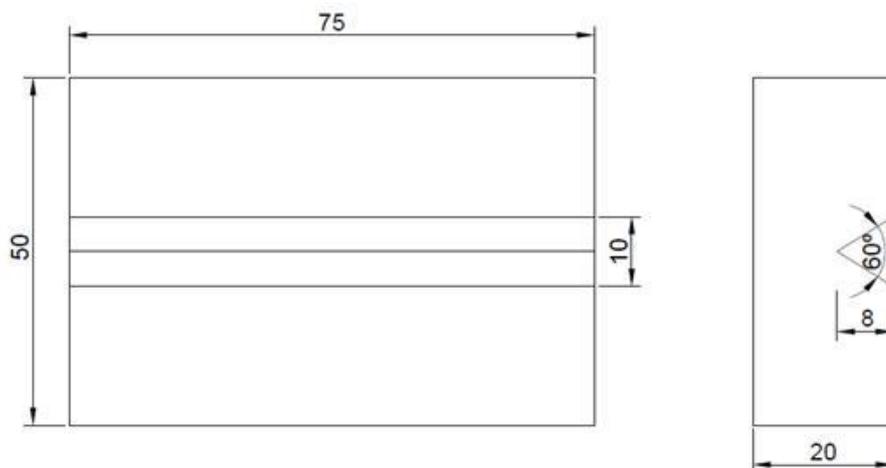


Figura 2. Desenho corpos de prova

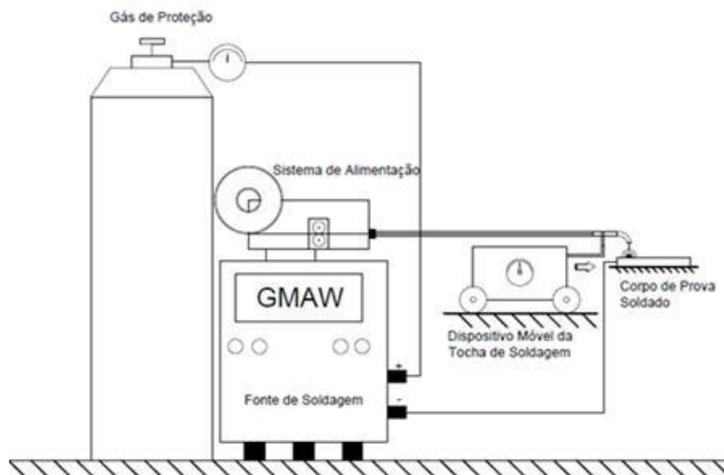
Todos os corpos de prova foram submetidos ao tratamento térmico de normalização, a fim de reduzir as tensões residuais oriundas do processo de usinagem, assim como homogeneizar a microestrutura e propriedades mecânicas [6 e 7].

### 2.1.2 Soldagem dos Corpos de Prova por Diferentes Procedimentos

O procedimento de soldagem foi mecanizado ao se acoplar a tocha de soldagem a um dispositivo móvel com velocidades ajustáveis. Este procedimento, juntamente ao dispositivo fixador e o corpo de prova são mostrados na Figura 3 e esquematicamente pela Figura 4.



**Figura 3.** Sistema mecanizado de soldagem, dispositivo fixador e corpo de prova



**Figura 4.** Desenho esquemático do processo de soldagem

Foram realizados 5 diferentes procedimentos de soldagem para avaliar a influência do pré-aquecimento, em diferentes temperaturas, e da soldagem multipasses na extensão da ZTA formada e na microestrutura e propriedades obtidas na ZTA e zona fundida (ZF), como pode ser observado na Tabela 1.

As especificações do equipamento de soldagem utilizado para a realização dos testes, assim como os parâmetros de soldagem aplicados nos experimentos podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 1. Procedimentos de soldagem realizados

Corpo de Prova	Processo de Soldagem	Pré-Aquecimento	Uso do Dispositivo
01	Passe único	Sem pré-aquecimento	Sim
02	Passe único	Aquecimento a 200°C	Sim
03	Passe único	Aquecimento a 250°C	Sim
04	Passe único	Aquecimento a 300°C	Sim
05	Passe duplo	Sem pré-aquecimento	Sim

Tabela 2. Especificações do equipamento de soldagem e dos parâmetros de soldagem utilizados

Equipamento de Soldagem	
Fabricante	Licoll Electric
Fonte	CF45
Alimentador	S350 Power Saver
Parâmetros de Soldagem	
Alimentação	5m/min
Corrente de Trabalho	Aprox. 200 <sup>a</sup>
Tensão em Vazio	23V
Indutância	Posição 0
Gás	20% Ar + 80% CO <sub>2</sub>
Vazão do Gás	15 L/min
Preflow	1s
Stick-out	5,5 mm
Especificação do Arame	ER7056
Velocidade de Deslocamento	113mm/min e 226mm/min

### 2.1.3 Caracterizações Químicas, Metalográficas e Mecânicas

A análise de composição química do material utilizado foi realizada por meio do ensaio de espectroscopia de emissão ótica modelo Foundry-Master Xpert, da marca OXFORD. A retirada das amostras dos corpos de prova, já soldados, para a realização dos ensaios de metalográficos foi realizada como pode ser observado na Figura 5.

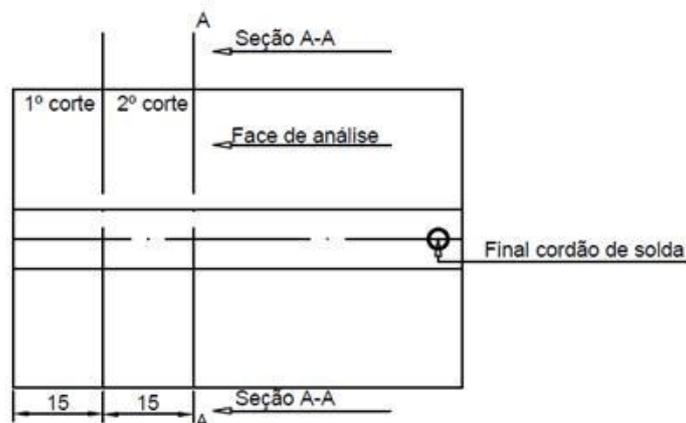


Figura 5. Desenho esquemático da sequência de cortes para retirada das amostras para análise metalográfica

A preparação das amostras para os ensaios macrográficos foram realizadas de maneira padrão: lixamento gradativo das amostras na sequência de lixas (para macrografias), seguido de polimento com diferentes granulometrias de pasta de diamante (para micrografia). O ataque químico foi realizado com Nital 2% (micrografia) e Nital 10% (macrografia), durante 5 segundos.

As macrografias foram digitalizadas e as áreas das zonas fundidas e das ZTAs medidas com o auxílio do *software* AutoCAD.

As avaliações das propriedades mecânicas das amostras foram realizadas por meio do perfil de micro durezas Vickers, as especificações do equipamento podem ser observadas na Tabela 3. A sequência de medições de micro dureza partiu do centro da zona fundida, distanciando-se com passes de 0,30 mm até atingir a ZTA, onde então, o passe foi de 0,15 mm até atingir o metal base.

**Tabela 3. Especificação e Parâmetros microdurômetro**

Micro dureza Vickers	
Fabricante	Shimadzu
Modelo	HMV
Carga	9,942 N
Tempo de aplicação	15 s
Passo zona fundida	0,30 mm
Passo ZTA	0,15 mm

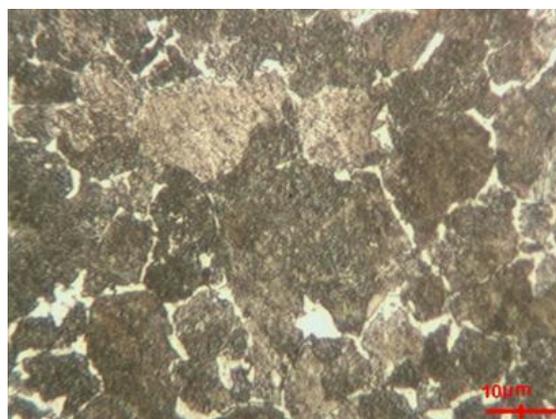
## 2.2 Resultados

Os resultados da análise química demonstraram se tratar de um aço AISI 1070, como mostrado na Tabela 4 [7 e 9].

**Tabela 4. Resultado da Espectroscopia de Emissão Ótica**

Composição química do aço analisado				
Elementos (%)	Ferro	Carbono	Silício	Manganês
	97,9	0,636	0,31	0,969

A Figura 6 exibe a microestrutura do material utilizado para a confecção dos corpos de prova após o tratamento térmico de normalização, apresentando colônias de perlita e grãos ferrita, microestruturas esperadas para um aço pró-eutetóide normalizado [6, 8 e 9].



**Figura 6. Foto-micrografia do material utilizado nos testes de soldagem normalizado**

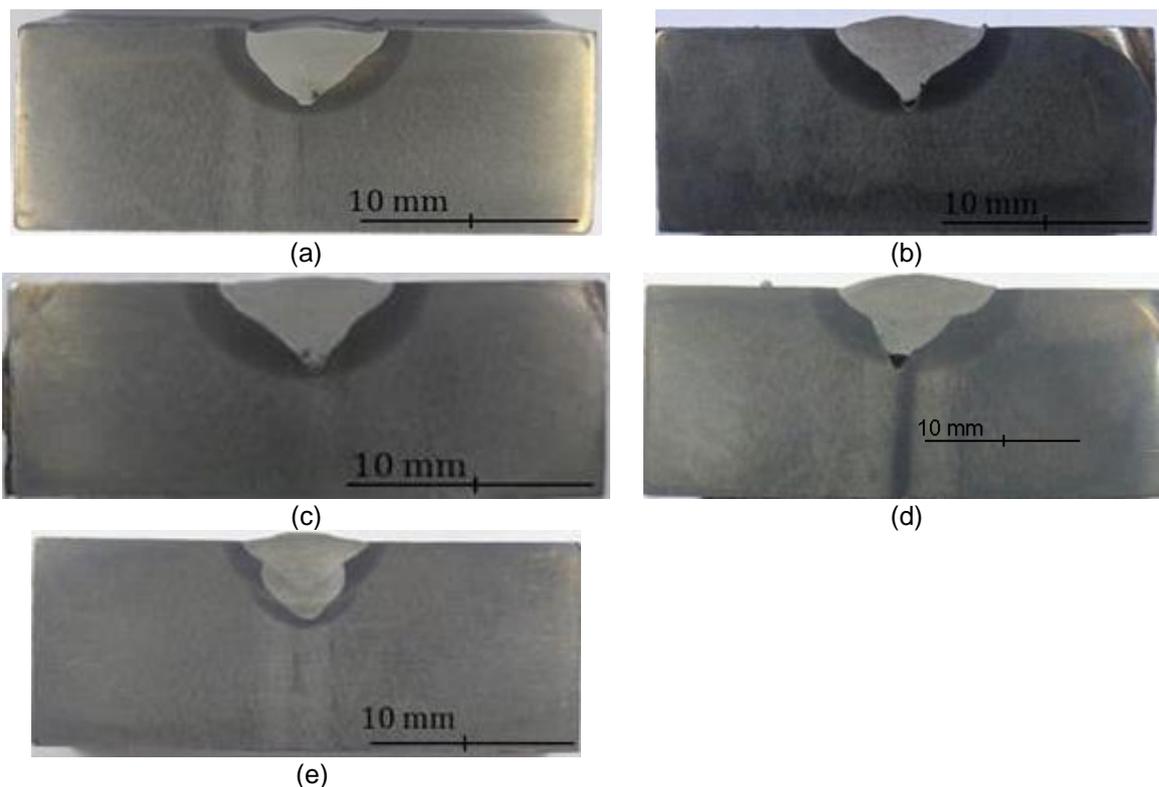
Dada composição química, este aço é classificado como temperável, favorecendo a formação de microestruturas metaestáveis e de alta dureza na ZTA, devido a maior taxa de resfriamento na região. Além disso, é um material susceptível à formação de trincas por revolução de gás hidrogênio [5].

É possível observar na Figura 7 um corpo de prova logo após o procedimento de soldagem.



**Figura 7. Corpo de prova após procedimento de soldagem**

A Figura 8 exibe os resultados das foto-macrografias dos corpos de prova submetidos aos diferentes procedimentos de soldagem.



**Figura 8. Macrografias dos corpos de prova seccionados: a) Passe único sem pré-aquecimento; b) Passe único e pré-aquecimento 200°C; c) Passe único e pré-aquecimento 250°C; d) Passe único e pré-aquecimento de 300°C; e) Multipasses sem pré-aquecimento.**

É possível observar a presença de falta de penetração do cordão de solda nas amostras 01, 02, 03 e 04. Este defeito de soldagem é grave e pode comprometer a

integridade do componente mecânico durante seu uso [1 e 5]. Nota-se que a amostra 05, soldada pelo procedimento multipasses não apresenta tal defeito.

A Tabela 5 exibe a extensão da ZTA nos diferentes experimentos, é possível observar que para os corpos de prova soldados pelo procedimento de passe único, a área da ZTA aumentou em função do aumento da temperatura de pré-aquecimento. Este dado é coerente com o esperado, visto que o aporte térmico envolvido no processo impacta diretamente na dimensão da área de análise [1. 3 e 5]. O corpo de prova soldado pelo procedimento de passe duplo, apresentou uma ZTA com área bem menor em comparação aos corpos de prova processados por passe único.

**Tabela 5. Áreas medidas ZTA**

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Área Medida (mm<sup>2</sup>)</b>
01	57,6
02	78,4
03	78,9
04	81,4
05	38,0

A Tabela 06 exibe a extensão da ZF nos diferentes experimentos s.

**Tabela 6. Áreas medidas das Zonas Fundidas**

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Área Medida (mm<sup>2</sup>)</b>
01	59,6
04	60,3

Esta informação é relevante para mostrar o efeito do aporte térmico quanto ao tamanho da zona fundida. É possível perceber que a diferença entre os corpos de prova 1 a 4 foi pouca, mostrando que o pré-aquecimento teve efeito mais significativo apenas quanto ao tamanho da ZTA.

Os perfis de micro dureza obtidos para os corpos de prova soldados com passe único, com diferentes temperaturas de pré-aquecimento e utilização da técnica multipasses estão dispostos na Figura 9.

Os resultados possibilitam observar que o procedimento de pré-aquecimento foi significativo na redução da dureza ZF e ZTZ apenas no experimento que aplicou-se temperatura de pré-aquecimento de 300°C. Tal fato é constatado uma vez que os corpos de prova pré-aquecidos até 250 °C atingiram picos de dureza na ZTA de 400HV, com um valor médio em tal zona de aproximadamente 375HV, ao passo que o pré-aquecimento de 300°C foi responsável por um pico de dureza na ZTA de aproximadamente 260HV.

Ao se observar os dados apresentados pela amostra soldada pelo uso de multipasses, nota-se valores médios de dureza de aproximadamente 300HV na ZTA, inferior em relação às amostras soldadas por passe único e com pré-aquecimento de até 250°C. Somado a isto, a ZTA apresenta área inferior e não houve falta de penetração, caracterizando-o como um procedimento favorável para o preenchimento de chanfros. Lembrando que neste experimento, além do pré-aquecimento, a única variável alterada foi a velocidade de deslocamento em relação aos experimentos com passe único.

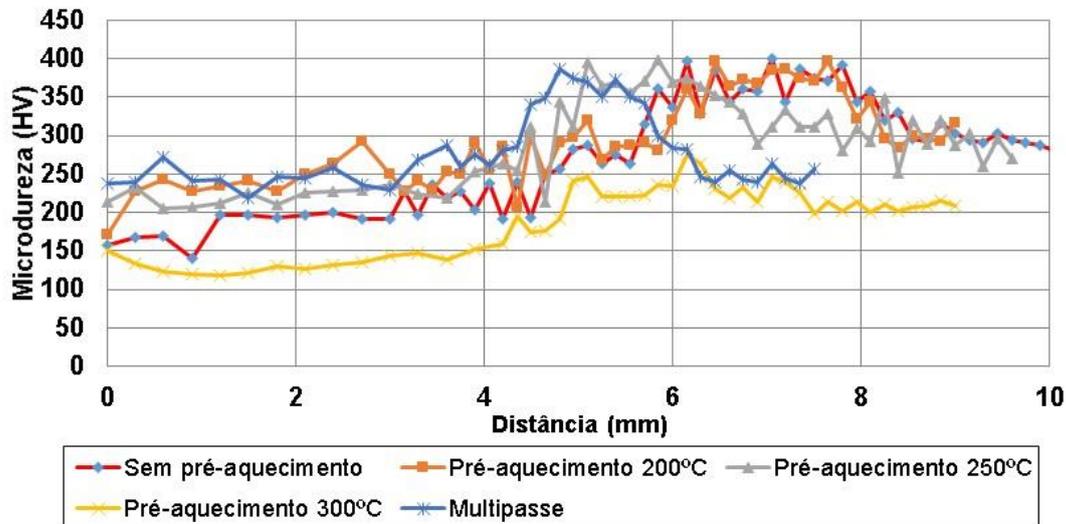


Figura 9. Perfis de microdureza das amostras.

Uma variação brusca de propriedades na estrutura de um componente metálico é um fator facilitador de iniciação e propagação de trincas, o que pode impactar diretamente a vida útil de componentes submetidos a esforços mecânicos, seja estático ou dinâmico [9 e 11]. Operações de soldagem ideais não causam efeitos significativos na estrutura de um material, caracterizadas como descontinuidades. Tais descontinuidades, neste caso, podem ser consideradas como diferenças microestruturais e das propriedades mecânicas nas zonas de transição. Portanto, apenas o tamanho da ZTA é insuficiente para se determinar a qualidade de uma junta soldada, sendo necessário analisar a microestrutura presente e conseqüentemente, suas propriedades mecânicas [1, 4 e 5].

As Figuras 10 (a) e (b) apresentam diferentes foto micrografias do corpo de prova soldado com passe único e pré-aquecida a 300°C.

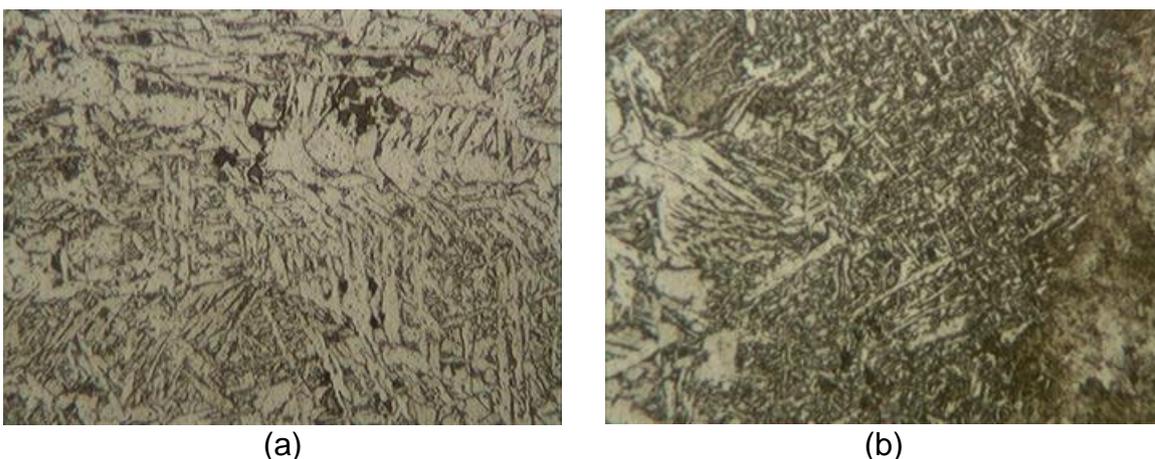
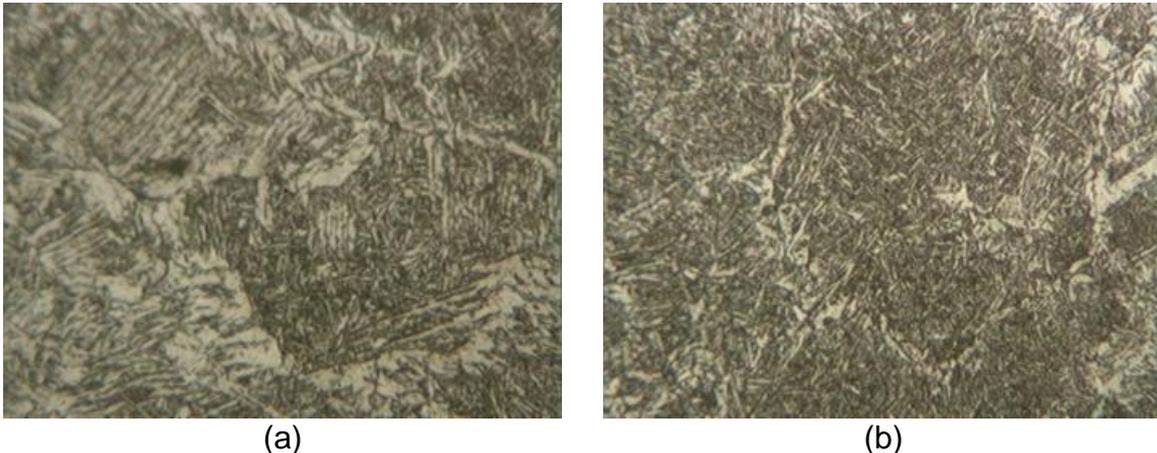


Figura 10. Amostra 4: (a) Zona Fundida e (b) Zona de transição zona fundida ZTA.

Nota-se na Figura 10 (a) a presença de colônias de perlita com possíveis ferritas de Widmanstätten. Tal estrutura é formada graças ao grande aporte térmico ao qual esta região é submetida e por um resfriamento longo o suficiente para permitir processos difusivos e a organização cristalina dos elementos presentes [5, 6, 8 e 9].

A Figura 10 (b) permite a visualização da transição entre a zona fundida, a ZTA e a zona intercrítica do material. A zona fundida caracteriza-se pelas colônias de perlita e por ferritas de Widmanstatten, seguida pela ZTA, a qual apresenta martensitas. É possível dizer que estas estão revenidas, uma vez que a dureza máxima atingida nesta zona foi de aproximadamente 260HV, conforme a Figura 8. Nota-se que esta região esteve susceptível a maiores taxas de resfriamento [5, 6, 8 e 9].

As Figuras 11 (a) e (b) apresentam as fotomicrografias realizadas na amostra soldada pelo uso de multipasses.



**Figura 11.** Amostra 05: (a) Zona Fundida e (b) Zona de transição zona fundida ZTA.

A Figura 11 (a) apresenta a transição entre a zona fundida e a ZTA da junta soldada. Nota-se na zona fundida colônias de perlita e ferritas de contorno de grão, seguida pela ZTA da amostra, a qual apresenta fases metaestáveis de elevada dureza. A Figura 13 mostra a ZTA da amostra, a qual apresenta uma quantidade maior de martensita revenida. Esta microestrutura está presente devido a uma maior taxa de resfriamento [5, 6, 8 e 9].

### 3 CONCLUSÕES

Pelo desenvolvimento do trabalho, com suas inerentes análises, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A realização dos testes de soldagem utilizando o dispositivo fixador dos corpos de prova permitiu simular a soldagem de estrutura de grande porte, cuja taxa de resfriamento e acelerada pelos mecanismos de troca de calor por condução.
- Por meio dos ensaios metalográficos, foi possível observar diferenças significativas entre os corpos de prova analisados. Juntamente a isto, o perfil de micro durezas permitiu realizar uma análise mais completa da influência dos procedimentos de soldagem nas propriedades finais do material, indicando que o pré-aquecimento a 300°C é o mais indicado para esta situação.
- Além disso, foi discutida a relevância de características finais da junta soldada, como tamanho da ZTA e variações de propriedades mecânicas na mesma.
- O processo multipasses possibilitou menor extensão da ZTA em relação aos procedimentos com passo único e aplicação de pré-aquecimento, porém apresentou dureza na ZTA e ZF superiores ao corpo de prova pré-aquecido a 300°C.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são direcionados aos responsáveis pelo Departamento de Engenharia de Materiais do CEFET MG (DEMAT CEFET MG). Em especial a Profa. Elaine Carballo Siqueira Corrêa, gestora do laboratório de Metalografia.

## REFERÊNCIAS

- [1] MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q.. **Soldagem - fundamentos e tecnologia**. 3. ed. rev. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009. 362p.
- [2] CARY, H. B.. **Modern welding technology**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.780p.
- [3] ASM. **Gas-metal arc welding**. Welding Handbook. 2.ed., v.6, 1994. p. 569-581.
- [4] SCOTTI, A; PONOMAREV, V.. **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho**. São Paulo: Editora Artliber, 2008. 284p.
- [5] KOU, Sindo. **Welding Metallurgy**; 2ªed. New Jersey: A John Wiley & Sons, 2003.
- [6] Reed-Hill RE. Princípios de metalurgia física. 2ª ed. Rio de janeiro: Guanabara dois; 1982.
- [7] Krauss G. Steels: Heat treatment and processing principles. Ohio: ASM International,
- [8] CHIAVERINI V. Aços e ferros fundidos. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais; 2008..
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Critério de Classificação dos Aços**, NBR NM 172/2000. Rio de Janeiro, 2000. 2000.
- [10] Martinez, A. et al. Influencia de la técnica de soldadura multipasada y de los tratamientos térmicos de precalentamiento y post-soldadura en el comportamiento de uniones GMAW de un aceromicroaleado HARDOX 400. **Revista de Metalurgia**, [s.l.], v. 47, n. 1, p.61-75, 28 fev. 2011. Departamento de Publicaciones del CSIC.
- [11] Callister WDJr. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Rio De Janeiro: LTC; 2006.