

## ESTUDO DO EFEITO DO PRÉ-AQUECIMENTO NA PENETRAÇÃO DA SOLDA MIG UTILIZANDO O AÇO SAE1045

Edilon de Oliveira França<sup>1</sup>, Renner Washington Mariano dos Santos<sup>1</sup>, Gilciara Aparecida Arruda da Silva<sup>1</sup>, Roger Esteves de Almeida dos Reis<sup>1</sup>, Jose Rubens de Camargo<sup>1</sup>, Maria Silvia Almeida de Souza França<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Fatec Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Rod. Ver. Abel Fabrício Dias, 4010 - Agua preta, Pindamonhangaba - SP, 12445-010-SP, Brasil, edilon.franca@fatec.sp.gov.br, renner.santos@fatec.sp.gov.br, gilciara.silva@fatec.sp.gov.br, roger.reis@fatec.sp.gov.br, jose.camargo7@fatec.sp.gov.br, maria.franca4@fatec.sp.gov.br

### Resumo

Este trabalho teve o objetivo estudar as diferenças dos efeitos do pré-aquecimento: com pré-aquecimento (260°C) e sem pré-aquecimento (25°C) utilizou-se a máquina de solda MIG automática, marca *Lincoln Electric* modelo *Power Wave S350*, com os seguintes parâmetros de Soldagem: 24 V, 200 A, Velocidade do arame 8 m/mm, Velocidade de soldagem 20 cm/min e com arame sólido 1,2 mm ER70S6, chapa de aço SAE1045 com as dimensões: 25mmX100mm x12,4 mm., Posição 1G, Vazão do Gás Argônio 15L/min, distância do bocal da tocha 10 mm, Ângulo de inclinação da tocha 20°. O pré-aquecimento de 260°C demonstrou uma penetração de cerca de 61% maior quando comparado com a sem pré-aquecimento (25°C), também foi observado por Castro; Pinheiro (2017). Ao analisar a diluição da solda com pré-aquecimento foi de 40% e a sem pré-aquecimento de 13%. Conclui-se que solda com pré-aquecimento, observou-se nenhuma alteração nas microestruturas das regiões da solda e ZTA. Já penetração e diluição foram observadas um aumento expressivo, demonstrando que o calor do pré-aquecimento melhora esses dois requisitos da soldagem.

**Palavras-chave:** Diluição. Dureza. Macrografia. Micrografia.

**Área do Conhecimento:** Engenharia/ Engenharia Mecânica

### Introdução

O aço carbono é caracterizado por ser uma liga ferrosa com teor de carbono de até 2%. Além do carbono, essa liga apresenta a presença de elementos residuais em pequenas proporções. (CHIAVERIN, 2005).

O aço 1045 em questão possui baixa temperabilidade. Em outras palavras, a transformação martensítica, responsável pelo aumento da dureza do aço, ocorre em uma região relativamente superficial do material, sendo uma liga de médio carbono com propriedades altamente vantajosas, tendo boa resistência mecânica e dureza, embora seja conhecida por sua boa usabilidade e soldabilidade (COOPEMETAL, 2024).

A soldagem é a união de dois materiais iguais ou diferentes com ou sem adição de material, com auxílio de calor ou pressão, onde ocorre a fusão total do metal base e material de adição na zona de fusão da solda. Para gerar o calor durante a soldagem o método mais comum é o arco elétrico, nesse processo se destaca: Eletrodo revestido, MIG (*Metal Inert Gas*), TIG (*Tungsten Inert Gas*) e arco submerso. Esse processo de fabricação mais utilizados nos dias atuais, abrangendo vários números de diferentes processos, usados principalmente na fabricação de peças e equipamentos e estruturas metálicas. (DELGADO, 2024).

A soldagem GMAW (*Gás Metal Arc welding*) conhecida também com MIG (*Metal Inert Gas*), neste processo de soldagem um arco elétrico é mantido de forma contínua entre a peça e o consumível, sendo protegido por um fluxo de gás inerte, muito utilizado nas indústrias por sua alta taxa de deposição e maior taxa de produtividade, qualidade e por gerar soldas isentas de escória (FORTES, 2024).

Segundo a AWS. *American Welding Society* (2013) o calor aplicado à metal base ou substrato dos cordões de solda durante o processo de Inter passes, antes de iniciar o processo de soldagem

denominava-se pré-aquecimento. Para chegar a temperatura de pré-aquecimento ideal para cada tipo de aço deve-se levar em conta o carbono equivalente e utilizar uma equação própria ou quando o aço é conhecido pode buscar tabelas para se fazer o pré-aquecimento.

## Metodologia

Este Trabalho foi realizado no Laboratório de soldagem da Fatec de Pindamonhangaba, utilizou-se o processo de soldagem MIG automática, fonte marca *Lincoln Electric* mode *Power wave S350*, os parâmetros de soldagem são ilustradas na Tabela 2, com arame sólido 1,2 mm ER70S6, a técnica de soldagem empurrando com pré-aquecimento (260 °C) e sem pré-aquecimento (25°C) e a Chapa de aço SAE 1045, com as dimensões: 25mmX100mm x12,4 mm, composição química da chapa de aço foi fornecida pela revendedor de Aço CONFER e está ilustrada na Tabela 1.

Tabela 1 Composição Química do aço 1045 Peso em porcentagem

C	Si	Mn	P	S
0,44	0,13	0,8	0,02	0,02

Fonte: o autor

Tabela 2 Parâmetros de Soldagem utilizados

Parâmetros de Soldagem	
Temperatura °C	25 260
Voltagem [V]	24
Amperagem[A]	200
VelocidadedoArame[m/min]	8
VelocidadedeSoldagem [cm/min]	20
PosiçãodeSoldagem	1G
Vazão gás Argônio [L/min]	15
Distancia bico de contato [mm]	10
Ângulo da tocha de soldagem [ °]	20

Fonte: o autor

Após realizar o processo de soldagem MIG, as chapas soldadas foram cortadas ao meio com o auxílio da cortadeira metalográfica Marca Teclago modelo CM80 e retirado uma amostra de 10 mm de largura de cada chapa soldadas, totalizando 2 amostras. Na sequência foi iniciado o processo de lixamento coma a lixadeira marca Arotec modelo Aropol dupla, com a seguinte sequência de Lixas: 180,220,320,400,500,600 mesh.

Após esse processo as amostras foram levadas ao laboratório de Química, e realizado o ataque químico utilizou-se o método esfregando e com o reagente químico Nital 10% (ácido Nítrico 10ml e 90 ml de álcool etílico). Por final as amostras foram analisadas no estereoscópio marca Olympus e Modelo XZ com ampliação de 6,7 X, com o objetivo de realizar aquisição de imagem do cordão de solda revelado pelo ataque químico e realizar as medições de penetração e área do cordão de solda com o objetivo de realizar o cálculo de diluição.

Depois de realizar a macrografia nas amostras, elas retornaram para o lixamento com a seguinte sequência: 600,800 1000,1200,1500 mesh e polimento com alumina com partícula de 0,3 micron. Na sequência realizou-se o ataque químico com Nital 2% (ácido Nítrico 2ml e 98 ml de álcool etílico) com a técnica por imersão por 10 segundos. Com objetivo de analisar as microestruturas da região soldada e zona afetada termicamente e metal base, levou-se as amostras para o microscópio marca Olympus modelo CX31 e realizou-se imagem de 500x de ampliação.

Após finalizar a micrografia e macrografia foi realizado a dureza na região da Metal base, ZTA (Zona Térmica Afetada) e zona Fundida. Com 3 medição na região superior superfície da chapa, 3

medições no meio e 3 medições na parte inferior para cada região estudada como descrita na norma *American Welding Society* (2013).

## Resultados e Discussão

Utilizou-se a Equação 1 cálculo do carbono equivalente, com os valores da dos elementos químicos descrito na composição química da Tabela 1 e o valor calculado para o carbono equivalente que foi de 0,57% e posteriormente realizou-se o cálculo do pré-aquecimento para o aço e tilizou-se a equação 2 .

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%MN}{6} + \frac{\%Cr+\%MO+\%V}{5} + \frac{\%Ni+\%Cu}{15} \quad \text{Equação 1}$$

$$TP_{min} = 350 \times \sqrt{C_{eq} \times (1 + 0,005E)} - 25 \quad \text{Equação 2}$$

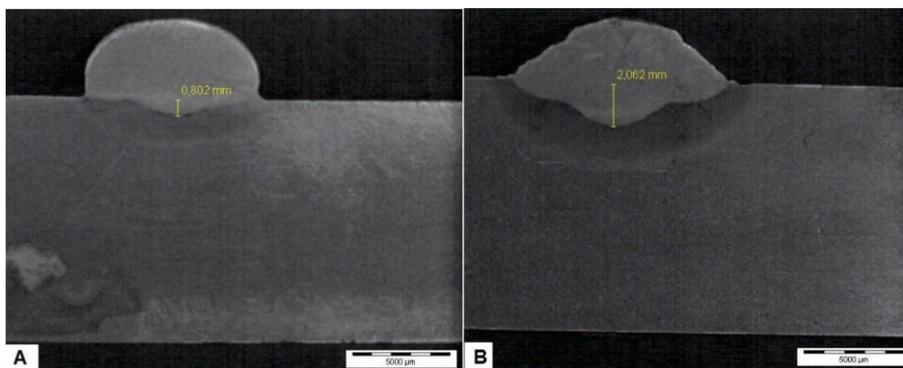
Onde  $C_{eq}$ = carbono equivalente E= espessura da chapa

O valor mínimo para o pré-aquecimento foi de 210°C e valor máximo de 310°C foi adotado o **valor médio** de 260°C para realizar os experimentos. Desta forma as condições estudadas foram :

- Temperatura de 25°C sem pré-aquecimento
- Temperatura 260°C com pré-aquecimento

Ao observar a Figura 1 pode-se verificar que a menor penetração foi sem pré-aquecimento (25°C) com o valor de 0,8 mm, com o valor cerca de 61% menor quando comparado com a solda com pré-aquecimento com a medida de 2,06 mm de penetração, indica que o calor do preaquecimento diminui a velocidade do ciclo térmico de soldagem desta forma favorece o maior aporte térmico e maior permanencia a soldagem acima da temperatura de TP, isso favorece o aumento da penetração da solda também Observado por Castro; Pinheiro (2017).

Figura 1 Penração da solda: a) sem preaquecimento e b) com preaquecimento



Fonte: o autor

Já ao observar a Tabela 3 é possível verificar os valores dos cálculos de diluição de cada condição, onde a amostra que recebeu o pré-aquecimento apresentou uma área maior de diluição cerca de 40,19% devido ao retardo na velocidade de resfriamento do ciclo térmico promovido pelo aporte térmico da temperatura inicial de soldagem de 260°C que aumentou o período entre a temperatura de Fusão (TM) e a temperatura (TP) fim de ZTA (Zona Térmica Afetada). Já amostra sem pré-aquecimento o valor da área foi menor cerca de 13,23%. Segundo (SOUZA NETO, 2015) o valor máximo de diluição aceitável é de 45% para aço baixo carbono.

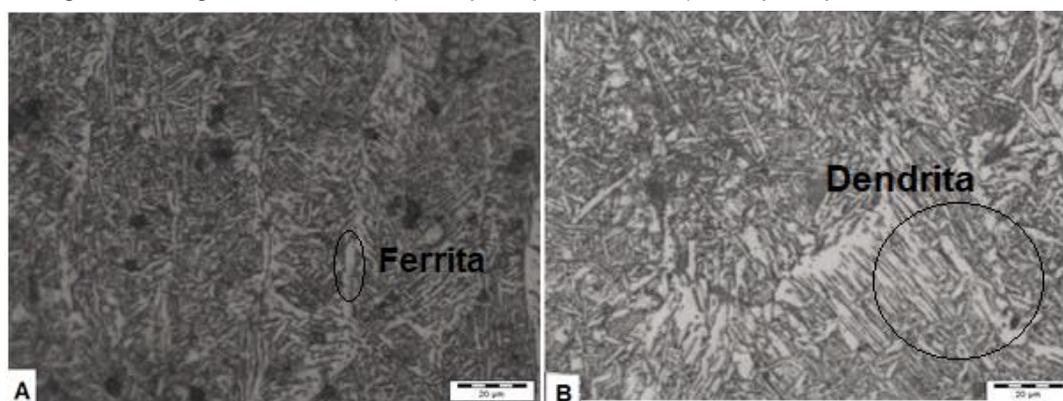
Tabela 3 cálculo da Diluição com preaquecimento e sem preaquecimento

Temperatura	25°C	260°
Área Superior mm <sup>2</sup> [A]	30,282	21,815
Área Inferior [mm <sup>2</sup> ] [B]	4,006	14,660
Área Total [A+B]	30,288	36,475
Diluição [%]	13,23	40,19

Fonte: o autor

Ao analisar a micrografia Figura 2, da Zona Fundida (ZF) das duas condições estudadas, com o aumento de 500x e ataque de Nital 2%, foi possível observar a presença da estrutura Dendrítica devido à alta velocidade de extração do calor da metal base na interface da ZF ocorre uma instabilidade na formação sólido e líquido. Essas instabilidades se desenvolvem mais rapidamente que as outras regiões da interface, avançando para dentro da fase líquida gerando a formação da estrutura Dendrítica e Ferrita. Deste modo é possível verificar que o calor do pré-aquecimento não afetou as formações das estruturas, como visto por ISQUIERDO *et al*, 2022b.

Figura 2 Região da solda : A) sem preaquecimento B) com preaquecimento



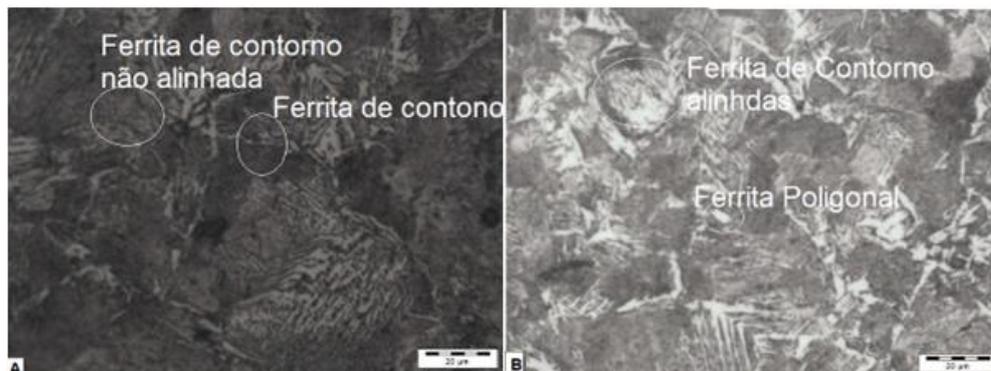
Fonte: o autor

Na Figura 3 regiões da ZTA (Zona Térmica Afetada) A) sem pré-aquecimento e B) com pré-aquecimento, com aumento de 500x e ataque de Nital 2%, foi possível identificar as mesmas estruturas presentes em todas as condições estudadas, indicando que a condição do fluxo também não afeta essa região da solda e não tem influência na formação das estruturas.

Pode-se verificar a presença de Ferrita com Segunda Fase não Alinhada, Ferrita Poligonal, Ferrita de contorno Alinhada e Ferrita de Segunda fase alinhada que são comuns nas ZTA das regiões soldadas como é observado por trabalho similares de ISQUIERDO *et al*, 2022a.

Já na Figura 4 A microestrutura do Metal Base com aumento de 500x com ataque Nital 2% é possível verificar a presença da Ferrita de cor branca e Perlita, a estrutura de cor escura que é característico de aço médio carbono como é o caso do aço 1045. Estas estruturas se repetem em todas as chapas, são as estruturas características deste tipo de aço baixo carbono que também foi observado por Nazaré(2022).

Figura 3 microestrutura ZT A : A) sem pre aquecimento B) com pre aquecimento



Fonte: o autor

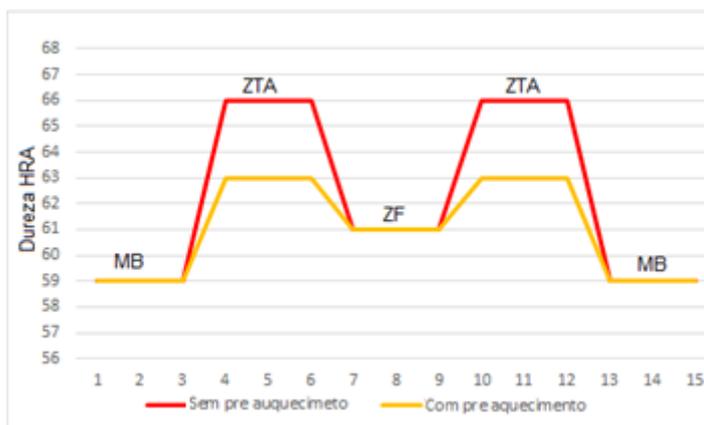
Figura 4 Estrutura do Metal Base



Fonte: o autor

Já ao observar a Figura 5 pode-se verificar que a amostra sem pré-aquecimento apresentou uma dureza média no Metal Base (MB) de 59 HRA e na região da Zona Fundia (ZF) o valor foi de 61 HRA e na Zona Térmica Afetada (ZTA) valor de 66 HRA e a amostra com pré-aquecimento o valor médio da dureza na região (MB) foi de 59 HRA e na (ZF) valor de 61 HRA e na (ZTA) valor de 63 HRA. Demonstrando que o retardo da temperatura do ciclo térmico entre TM e TP favorece o acomodamento da estrutura refletindo no valor de dureza medido na ZTA .

Figura 5 Grafico de dureza sem pre aquecimento e com pre aquecimento



Fonte: o autor

## CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso do pré-aquecimento, não altera as microestruturas das regiões da solda e ZTA. Já que foram encontradas as mesmas estruturas em todas as amostras observadas.

Já na penetração e diluição foram observados um aumento expressivo, demonstrando que o calor do pré-aquecimento melhora esses dois requisitos da soldagem.

A dureza demonstrou que houve uma diferença de cerca de 5% da dureza média na região ZTA entre as duas condições estudadas, demonstrando que o pré-aquecimento ajudou na diminuição do alívio das tensões interna.

## REFERÊNCIA

AWS. AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Processes Part 1. Welding Handbook – 9 Edition, Vol. 2. **AWS Standards EUA 2013.**

CASTRO, J. N.; PINHEIRO, B. R.; M. M. F., **Estudo da Variação da DBCP e do Ângulo de Soldagem em Corrente Pulsada, Curto Circuito Convencional e Curto Circuito Controlado Em Soldagem Mig/Mag** 72º Congresso Anual da ABM, Internacional e ao 17º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.

CHIAVERINI, V. **Aço e Ferro Fundidos**, 7ª edição Associação Brasileira de Metalurgia e Materials ABM.2005.

COOPMETAL Tudo sobre o aço SAE 1045. Disponível em: <https://www.coppermetal.com.br/blog/aco-sae-1045/>. Acesso em: 30 abr. 2024.

DELGADO, L. C. **Estudo E Desenvolvimento Do Processo TIG Com Alimentação Automática De Arame**. Disponível em: <https://labsolda.ufsc.br/public/teses-e-dissertacoes/dissertacoes/12-blank-56994628>. Acessado em: 26/03/2024.

FORTES, C. **Soldagem MIG/MAG. ESAB, 2005.** Disponível em: [http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0\\_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf](http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf). Acesso em: 10/05/2024.

ISQUIERDO, D.V.; FRANÇA, E.O; MONTEIRO, M.V.; SANTOS, R. W. M.; Junior Ribeiro, S.; MONTORO S. R. Análise da soldagem MIG no Aço SAE 1045 Variando a Técnica Empurrando e Puxando. XXVI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XXII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e XII Encontro de Iniciação à Docência.2022. São José dos campos. **Anais...** São José dos Campos Universidade do Vale do Paraíba 2022a. RE\_0492\_0328\_01.

ISQUIERDO, D.V.; FRANÇA, E.O; BERTHOUD, E. G.; SANTOS, R. W. M.; PEREIRA, S. A. V.; MONTORO S. R. ANÁLISE DA SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO NO AÇO ASTM A36 VARIANDO A TÉCNICA EMPURRANDO E PUXANDO. XXVI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XXII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e XII Encontro de Iniciação à Docência. 2022.São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos Universidade do Vale do Paraíba 2022b. RE\_0492\_0327\_01.

NAZARÉ, V. D. M. **Estudo da Profundidade e Diluição do Aço A36 com a Variação da Inlinação do Ângulo da Tocha no Processo MIG (GMAW)**. 2022. 46p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2022.