cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

# Efeito da energia de soldagem sobre as características morfológicas, microestruturais e microquímicas de interfaces dissimilares entre o aço 9Ni e a liga Inconel 625

Lucas Alves de Moraes[1]; Giovani Dalpiaz[2]; Ricardo Reppold Marinho[2]; Marcelo Torres Piza Paes[2]; Marcelo Ferreira Motta[1]; Hélio Cordeiro de Miranda[1]; Cleiton Carvalho Silva[1]

1.Universidade Federal do Ceará; 2. CENPES/PETROBRAS

## Introdução

- **Aços com 9%Ni**: usados em tanques e tubulações para armazenamento, pressurização e injeção **de CO2**;
- **Liga Inconel 625**: usada na união do aço 9%Ni – combina resistência mecânica e tenacidade em baixa temperatura;
- **Soldagem dissimilar**: formação de uma interface complexa – **Zona de Alta Diluição (ZAD)**
- **Efeito da energia de soldagem** sobre as características da ZAD.

## Metodologia

- Soldagem MIG/MAG robotizada: três níveis de energia de soldagem – **0,7 kJ/mm; 1,5 kJ/mm e 2,5 kJ/mm**;
- Potência do arco elétrico constante; alteração da **velocidade de soldagem** para obtenção de energias.

**Tabela 1.** Composição química do aço ASTM A333 Gr. 8 (9Ni).

| Elemento | C | Mn | Si | Ni | Cr | S | P | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| %p | 0.03 | 0.49 | 0.28 | 9.46 | 0.03 | <0.005 | <0.005 | Bal. |

**Tabela 2.** Composição química do arame AWS ERNiCrMo-3 (Inconel 625).

| Elemento | C | Mn | Si | Ni | Cr | Mo | Nb | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| %p | 0.09 | 0.05 | 0.12 | Bal. | 21.90 | 8.70 | 3.65 | 0.62 |




**Fig. 1.** Bancada robotizada MIG/MAG para soldagem circunferencial de tubos de 9Ni.

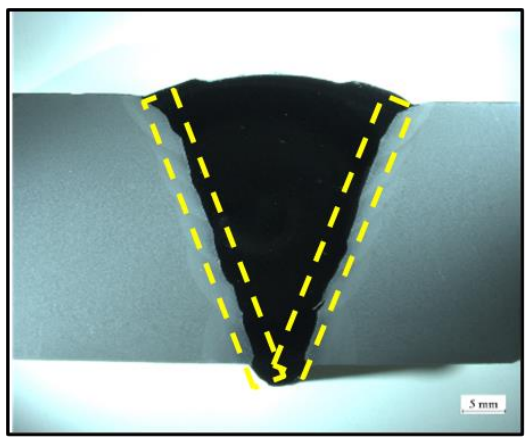



**Fig. 2.** Seção transversal da junta soldada entre a liga INCO 625 e o aço 9Ni, indicando a região de interesse.

## Resultados e Discussão

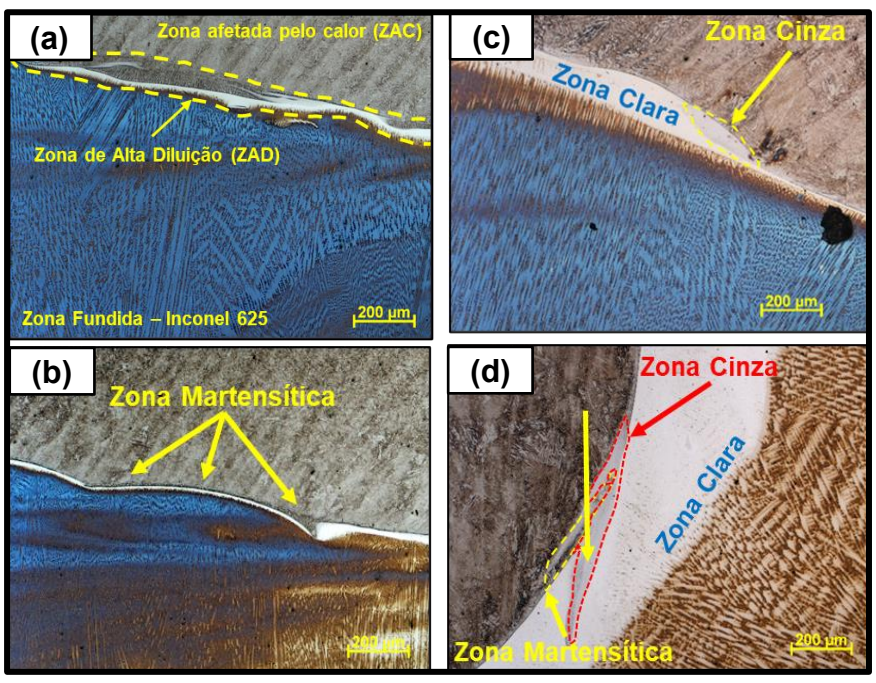



**Fig. 3.** Micrografias de regiões da interface dissimilar (a) e ZADs dos tubos soldados com energias de (b) 0,7 kJ/mm; (c) 1,5 kJ/mm e (d) 2,5 kJ/mm.

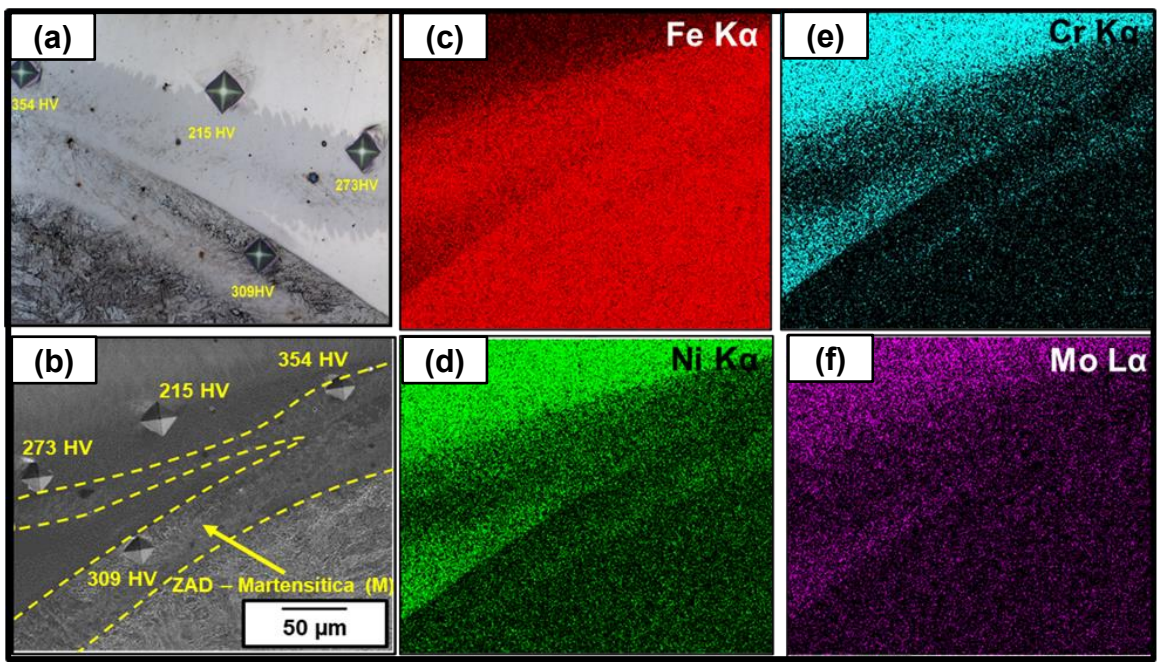
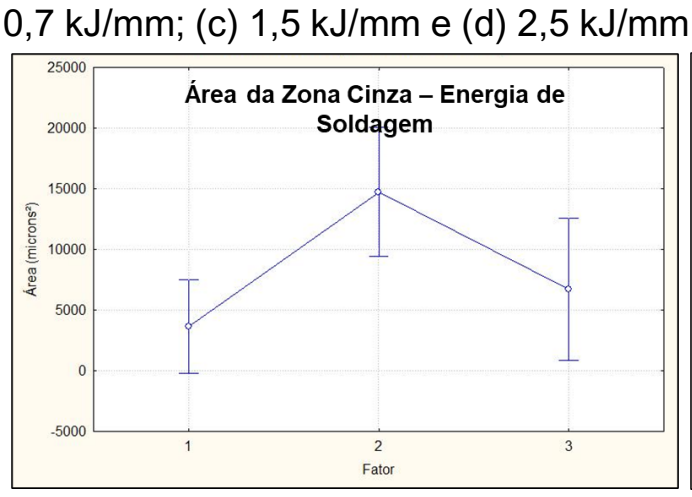
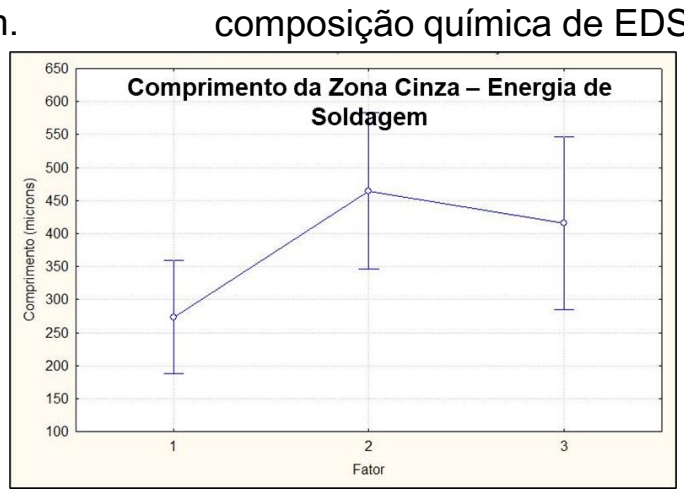



**Fig. 4.** (a) Imagem de MO da interface contendo indentações de microdureza. (b) Idem (a), obtida por MEV-SE. Mapas de composição química de EDS: (c) Fe $K_\alpha$; (d) Ni $K_\alpha$; (e) Cr $K_\alpha$; (f) Mo $L_\alpha$.



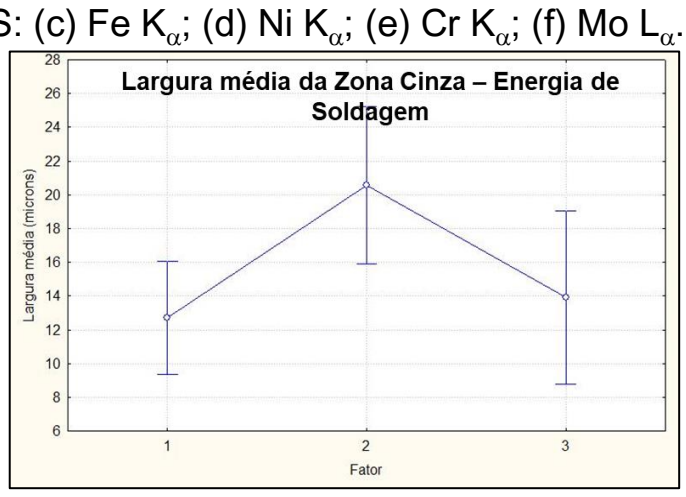




**Fig. 5.** Análises estatísticas – medições de área, comprimento e largura das zonas cinzas encontradas nas amostras de juntas circunferenciais soldadas com diferentes energias.

## Conclusões

- A soldagem de ligas distintas gera uma interface complexa, com variações de propriedades mecânicas e de composição química;
- O aumento da energia pela velocidade de soldagem contribui para o fenômeno de difusão em alta temperatura, incorporando Ni,Cr e Mo ao aço líquido estagnado na interface;
- Aumento das zonas cinzas e claras ao longo da interface à medida que a energia de soldagem aumenta.

## Referências e Agradecimentos

[1] Farias FWC, Filho JCP, Azevedo LMB. Metals. 2018;8:1007.

[2] Beltrão RLC, Sombra CL, Lage ACVM. Welding of clad steel catenary risers for Brazilian pre-salt applications. In: Proceedings of the Offshore Technology Conference (OTC); 2009; Houston, TX, USA. Paper OTC 19880.

UFC
LPTS
BR PETROBRAS
anp Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CAPES