

AVALIAÇÃO DA TENACIDADE À FRATURA DE JUNTAS SOLDADAS DO AÇO API 5L X80

Epitácio Bronzeado Neto¹

Marco Antonio dos Santos¹

Theophilo Moura Maciel¹

João Vitor de Queiroz Marques¹

Walter Belarmino da Silva Filho¹

Jaime Matias da Silva Neto¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Avenida Aprígio Veloso 882. Bairro Universitário, 58429-900, Campina Grande, PB. Brasil.

Resumo: Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento e a tenacidade à fratura do aço de Alta Resistência e Baixa Liga –ARBL - API 5L X80, Utilizaram-se corpos de prova do tipo (SENB) de acordo com a norma ASTM E1820. O método utilizado para determinar a tenacidade à fratura foi o da abertura crítica de trinca (CTOD). As juntas foram soldadas por meio de processo manual SMAW e processo robotizado GMAW/FCAW. Os resultados indicaram uma queda de tenacidade à fratura na região da ZTA-GG com reduções de 36% e 43% para juntas soldadas pelo processo SMAW manual e robotizados respectivamente. A redução nos valores do CTOD foi mais acentuada ao se utilizar o processo SMAW manual.

Palavras-chave: Ensaios CTOD, Aço API 5L X80, Junta soldada, Microestrutura.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de dutos não é recente, o transporte de fluidos já podia ser observado na china antiga com o uso de bambus para o transporte de água como nas tubulações de chumbo utilizadas por gregos e romanos. Da mesma forma, os gasodutos implementados na Inglaterra em meados de 1800 para viabilizar a distribuição, mesmo que pontual, de fontes energéticas empregavam redes de dutos instalados para abastecer os lampiões dos postes de iluminação [1].

No Brasil a primeira linha de oleodutos entrou em operação na região do recôncavo baiano em 1949, quatro anos antes da fundação da Petrobras. Pouco mais de uma década, após a inauguração deste oleoduto, foram iniciadas as operações do primeiro duto de grande extensão implantado no início da década de 60, com extensão de 365 km ligando a refinaria de Duque de Caxias a Belo Horizonte.

Com a crescente demanda por matrizes energéticas faz-se necessário o desenvolvimento de materiais inovadores bem como o controle do processo de fabricação e instalação destes dutos com o objetivo de atender os requisitos de redução de custos, riscos e tempo.

Durante o processo de soldagem uma carga térmica é imposta sobre o metal e na fronteira da Zona Fundida (ZF). A região vizinha denominada zona termicamente afetada (ZTA) e não foi exposta a temperaturas suficientes para fundir o metal, entretanto suficientes para originar transformação de fases e com o resfriamento do metal, a austenita recém-transformada pode retornar na forma de diferentes microconstituintes [2], nos quais podem alterar significativamente a tenacidade nessa região.

As características mecânicas exigidas são encontradas nos aços API, entretanto, as mesmas podem ser alteradas pelo emprego de processos de soldagem na união dos dutos. Estudos apontam que a perda localizada da tenacidade a fratura pode estar relacionada com a formação de zonas frágeis localizadas [3], principalmente na região termicamente afetada de grãos grosseiros ZTA-GG, vizinha à linha de fusão.

Uma forma de se obter a tenacidade à fratura em juntas soldadas em materiais nos quais pode ocorrer alguma deformação plástica antes da falha é o CTOD, pois a deformação plástica permite que a ponta de uma trinca se estique e abra, daí o "deslocamento da abertura da ponta" (*Crack Tip Open Displacement*). Obtido através de uma relação geométrica com os dados do abertura do *Clip Gage* posicionado na abertura do entalhe.

Neste trabalho foi avaliado o efeito do tipo e morfologia dos microconstituintes presentes sobre a tenacidade à fratura na ZTA de juntas soldadas do aço API 5L X80 utilizados na fabricação de oleodutos através de ensaios CTOD com entalhe posicionado em regiões da ZTA próximas à linha de fusão.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As juntas foram unidas por processo manual ao Arco Elétrico com Eletrodo Revestido (SMAW) e pelos processos ao Arco Elétrico com Proteção Gasosa com arame maciço (GMAW) e com Arame Tubular (FCAW) ambos automatizados com as soldagens sendo executadas na posição plana.

Para soldagem pelo processo SMAW foram utilizados o eletrodo AWS E9010-G com 3,25 mm de diâmetro para os passes de raiz e o eletrodo AWS E9018-G com 4 mm de diâmetro para os passes de enchimento e acabamento. Para o passe de raiz foi utilizado o processo GMAW utilizando o arame AWS ER120S-G 1,0mm de diâmetro. Os demais passes de enchimento e acabamento foram realizados pelo processo FCAW com o arame AWS E101T1-K7M H4 (FCAW-G) ambos com proteção gasosa de Ar +25% CO₂ [4]. As condições de soldagem e composição dos eletrodos estão expostas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Condições de soldagem.

Condição	Processo			Consumível	
	TIPO	Raiz	Ench./ Acab.	Raiz	Ench./ Acab.
M1	MANUAL	SMAW	SMAW	E9010-G	E9018-G
R1	ROBOTIZADO	GMAW	FCAW-G	ER 120S-G	E101T-1-KM7 H4

Tabela 2 – Composição química dos consumíveis.

Consumível	Composição Química (%)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
E101T1-K7M H4	0,06	0,4	1,6	-	2,5	-	-
ER120S-G	0,10	0,7	1,8	0,3	1,9	0,5	-
AWS E9010-G	0,10	0,2	0,9	0,015	0,8	0,5	0,008
AWS E9018-G	0,05	0,5	1,1	-	1,6	0,2	-

Os tablets foram retirados das amostras de união soldada, com comprimentos superiores a 5 vezes W de modo a possibilitar a variação do posicionamento do entalhe em função da disposição da ZTA e confeccionados corpos de prova do tipo SEN(B). O entalhe foi realizado na região de grãos grosseiros da zona termicamente afetada após identificação da mesma através do reagente químico Nital a 10%. Os testes foram conduzidos de acordo com a norma ASTM E1820. Os corpos de prova, após a realização do entalhe por eletroerosão, foram pré-trincados em fadiga com frequência de 20 Hz. As dimensões do corpo de prova podem ser observadas na Fig. 1, sendo a secção transversal quadrada e dimensões de W e B iguais a 17mm.

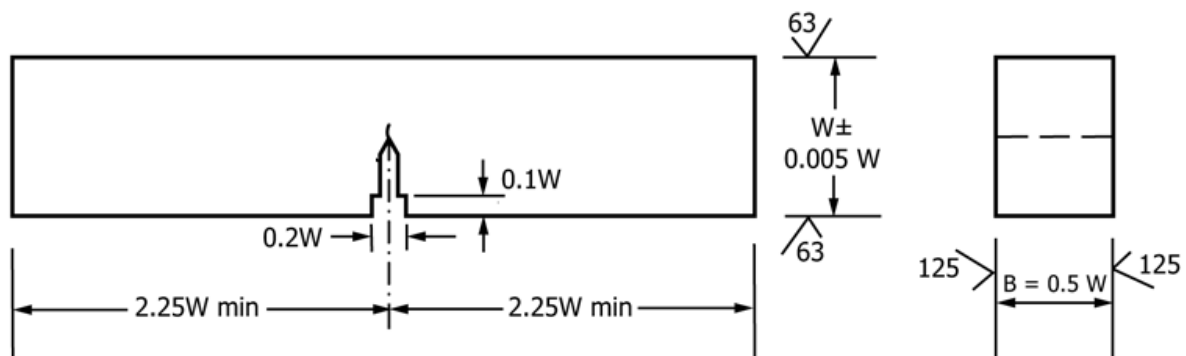


Figura 1 - Dimensões dos corpos de prova CTOD

O ensaio de CTOD foi realizado sob flexão em três pontos. O deslocamento plástico V_{pl} foi determinado a partir do gráfico (Força X V) como demonstrado na fig. 2, no ponto de máxima carga.

A partir da abertura V_{pl} do “clip-gage”, como indicado na fig.2, calculou-se o CTOD crítico a através da seguinte expressão:

$$\delta = \frac{K^2 (1 - \nu^2)}{2\sigma_{ys}E} + \frac{r_p(W - a_o)v_{pl}}{[r_p(W - a_o) + a_o + z]} \quad (1)$$

Onde:

a_o = comprimento original da trinca,

W = altura do corpo de prova

K = fator de intensidade de tensão,

ν = coeficiente de Poisson,

σ_{ys} = Média entre os limites de escoamento e resistência,

E = módulo de elasticidade à temperatura de teste,

V_{pl} = componente plástico do deslocamento da abertura do “clip-gage”,

z = distância do ponto de medição da borda da faca da borda entalhada,

r_p = fator de rotação de plástico (0,44).

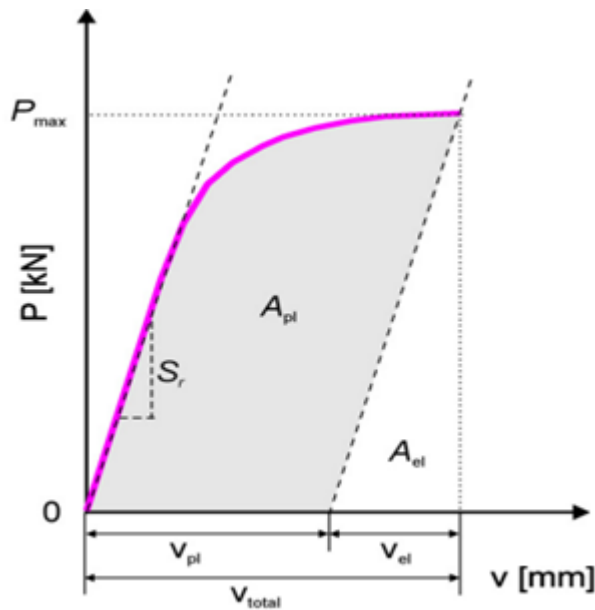


Figura 2 – Gráfico da Carga VS Abertura do “Clip-Gage” e obtenção do valor V_{pl} .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 3 pode-se observar o aspecto macrográfico e microestrutural da junta soldada pelo condição de soldagem M1. Na fig.3(b) observa-se a presença de uma microestrutura ferrítica e bainítica com presença de constituinte M-A, indicado pelas setas, como também foi observado por MOHSENI [5].

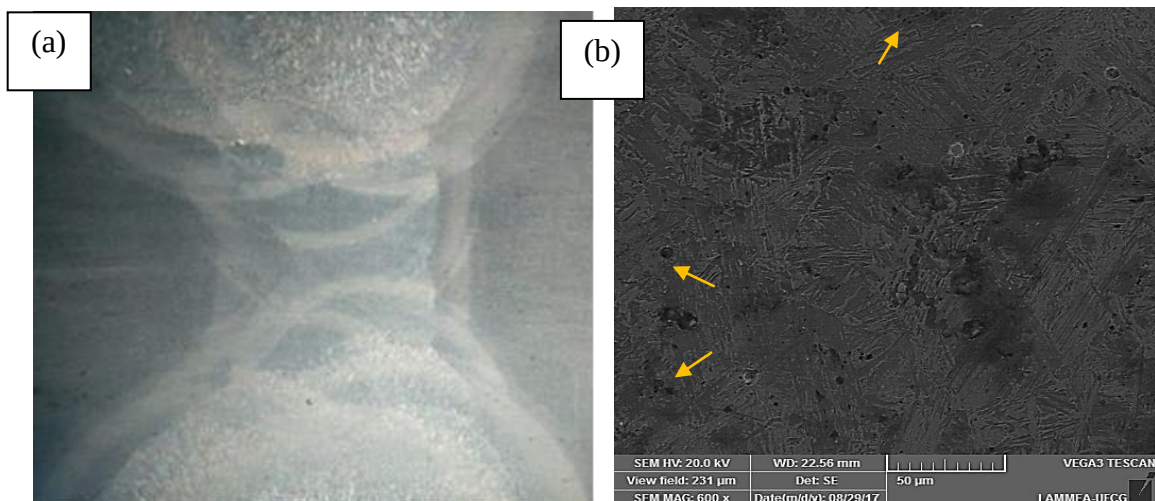


Figure 3: Metalografia (a) Macrografia da junta; (b) Presença de microconstituente M-A.

Nas figuras 4 e 5 observam-se, por exemplo, as curvas de carga x abertura do “clip-gage” V para dois corpos de prova ensaiados (CTOD) até o ponto de máxima carga. O primeiro na fig. 4 representa a parte majoritária dos ensaios onde o corpo de prova alcança a carga máxima de forma progressiva com um comportamento completamente plástico. No entanto, um dos corpos de prova do processo M1 exibiu um comportamento distinto dos demais resultados como pode ser observado na fig. 5, o mesmo apresenta uma queda brusca na carga (pop in) seguido de um retorno com continuação da propagação estável da trinca. Isso se deve provavelmente ao encontro de uma estrutura mais dura como bainita na ponta da trinca com plano cristalográfico paralelo a trinca, elevando a carga necessária para propagação da mesma, após a trinca ultrapassar a microestrutura a carga cai até encontrar outra microestrutura com tenacidade suficiente para conter a trinca.

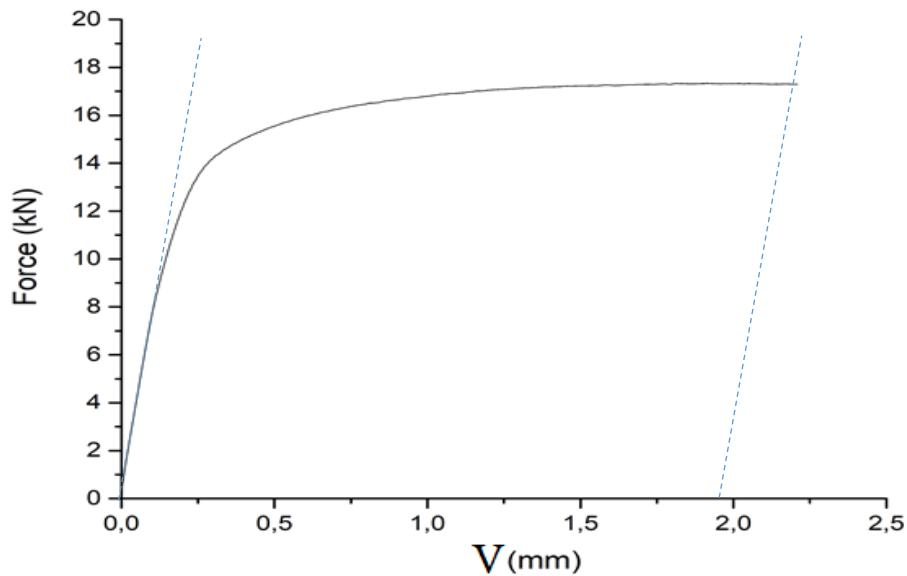


Figura 4 – Força x V – Comportamento plástico.

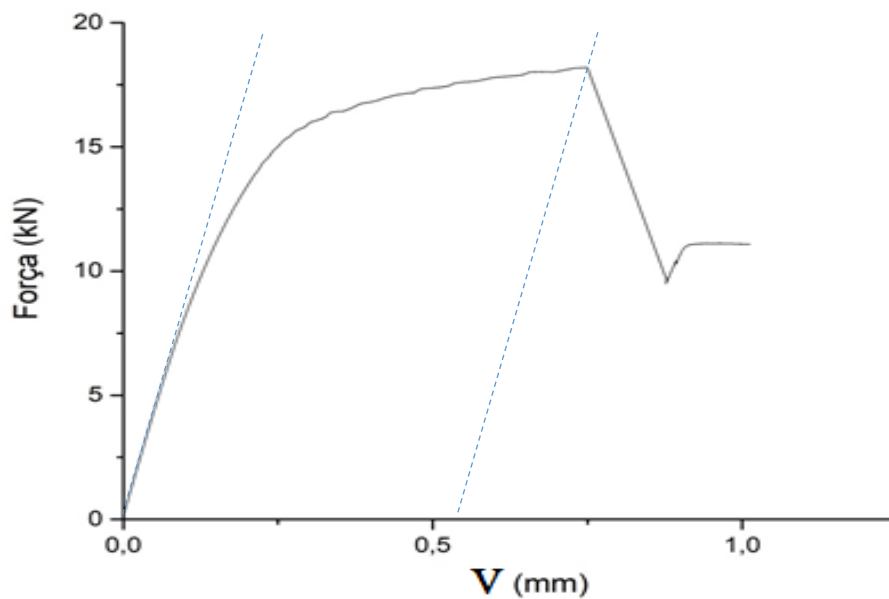


Figura 5 – Força x V – Pop in.

Na Figura 6, onde destaca-se a diminuição da tenacidade à fratura para os processos de soldagem na região da ZTA quando comparados ao CTOD do metal de base (MB) como apontado por ZERBEST [6].

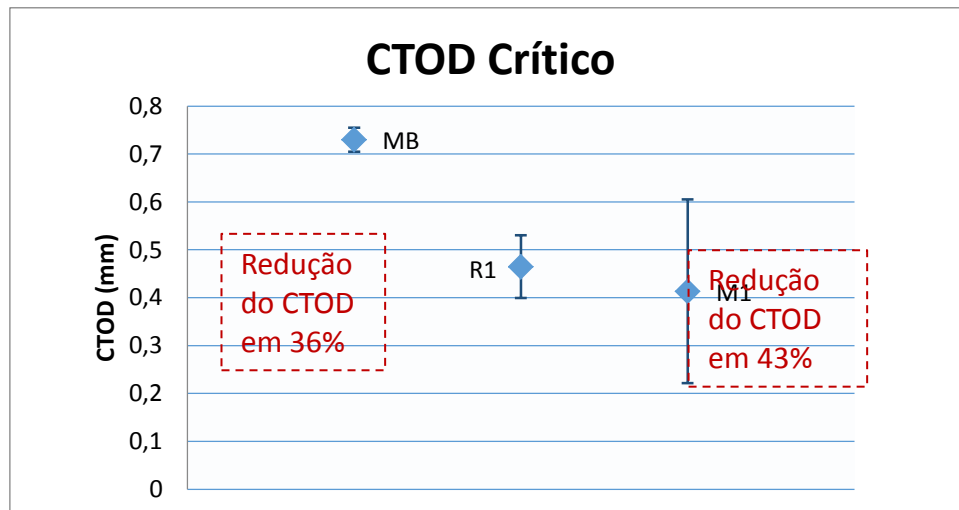


Figura 6 – CTOD crítico para diversas condições de soldagem e material base.

Na Figura 7, (a) e (b) pode-se verificar a homogeneidade da propagação da pré-trinca seguida de uma zona de embotamento (strech zone), seguida de uma zona de propagação dúctil da trinca com (c e d) grande variação nas dimensões das microcavidades (dimples) causando possivelmente uma maior carga de energia para forçar o coalescimento das microcavidades e propagação da trinca.

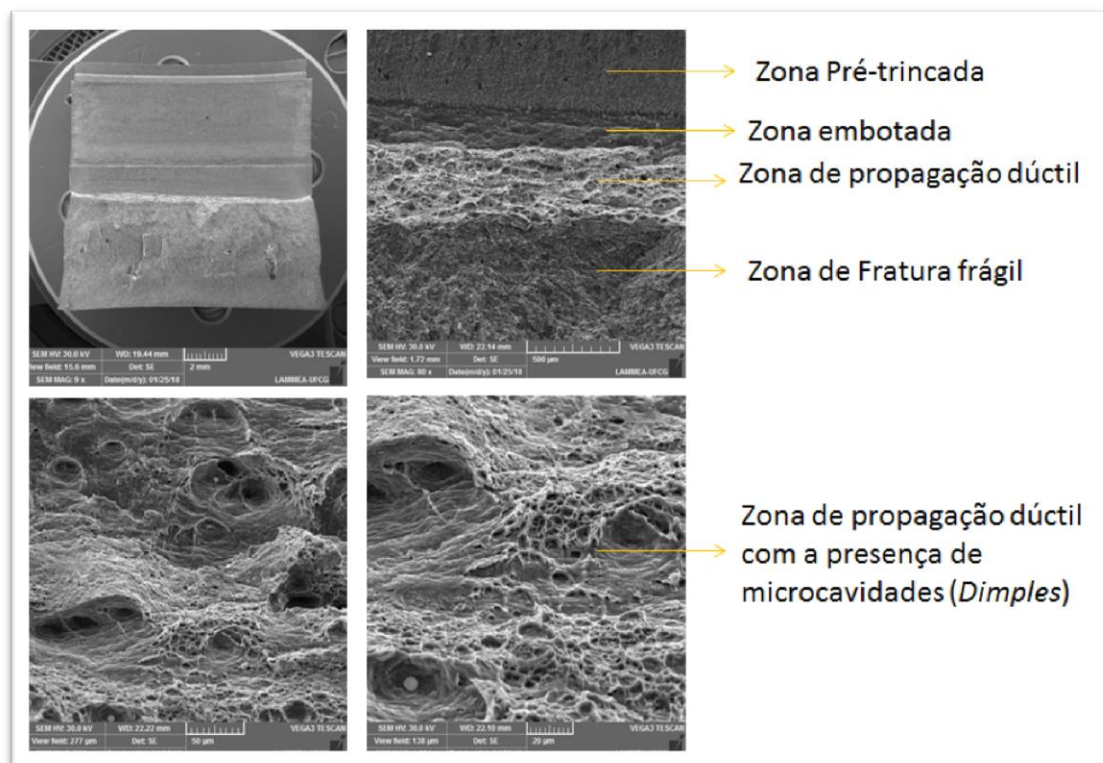


Figura 7 – Imagens da região fraturada processo M1 CP 6 (a-Secção transversal, b- região de embotamento, propagação dúctil da trinca e fratura por clivagem devido o resfriamento por nitrogênio líquido após o ensaio de CTOD até a carga máxima, c e d- região dúctil aumentada 500x e 1000x).

Observa-se na figura 8 (a) que a zona de propagação da trinca de fadiga foi uniforme, (b) menor região de embotamento quando comparado com a propagação dúctil da trinca (c e d) apresentando regiões com dimensões de concavidades díspares.

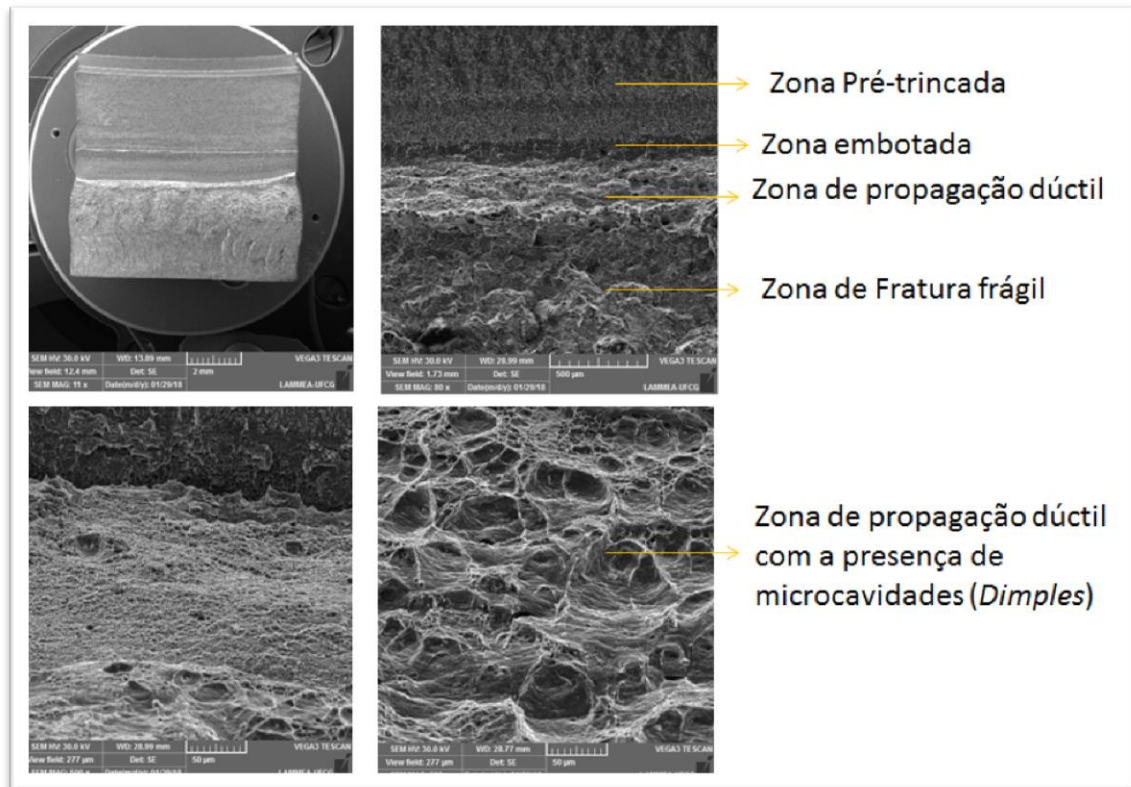


Figura 8 – Imagens da região fraturada processo R1 CP9 (a-Seção transversal, b- região de embotamento, propagação dúctil da trinca e fratura por clivagem devido o resfriamento por nitrogênio líquido após ensaio de CTOD até carga máxima, c e d- região dúctil aumentada 500x e 1000x).

Na Figura 9 observa-se a relação do tamanho da região embotada (*Stretch Zone*), zona de fratura dúctil por coalescimento de vazios e resultados de CTOD crítico.

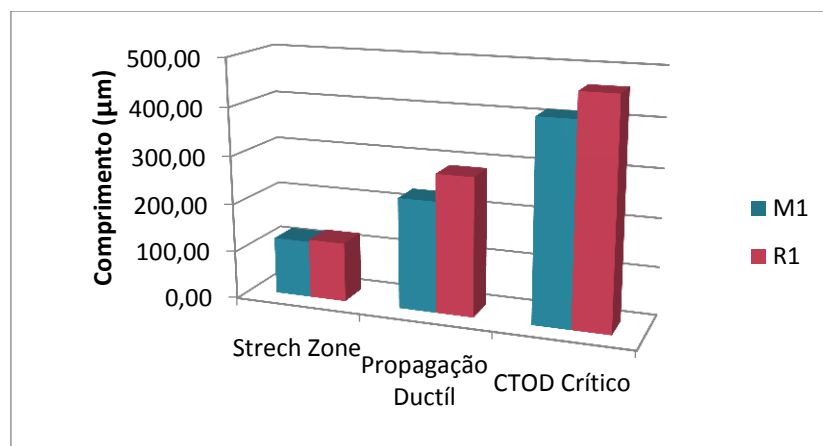


Figura 9 – Stretch Zone, Zona de propagação da trinca de forma dúctil e CTOD crítico.

4. CONCLUSÕES

Observou-se na região de grãos grosseiros da ZTA a presença microestrutural de ferrita/bainita com ilhas de dureza formadas por constituintes M-A.

A região da ZTA em indiferente ao processos apresentou redução significativa na tenacidade à fratura quando comparada com a do metal base. Entretanto, tal perda de tenacidade fica mais evidenciada nas juntas soldadas pelo processo SMAW manual.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Laboratório de Soldagem (LABSOL) da Universidade Federal de Campina Grande. A todos que fazem parte dessa equipe e contribuem sempre com enorme dedicação, muito obrigado.

6. REFERÊNCIAS

- [1] GUEDES, R. P. **Influência da corrente de soldagem nas propriedades de juntas de aço de alta resistência e baixa liga soldadas com eletrodo revestido**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós - Graduação em Engenharia Mecânica, 2009
- [2] SOUZA, M. N. **Estudo da Soldabilidade do Tubo API 5L X80 Utilizando os Processos de Soldagem: MAG Transferência Controlada e Eletrodo Tubular**, 2010, Tese (Doutorado) – Escola Politécnica de São Paulo, 2010
- [3] XU CHEN et al. **A comparison between fracture toughness at different locations of longitudinal submerged arc welded and spiral submerged arc welded joints of API X80 pipeline steels**. Engineering Fracture Mechanics 148 (2015) 110–121, 2015
- [4] BRONZEADO NETO, E. ; MACIEL, T. M. ; CRUZ NETO, R. Q. ; MATIAS, J. . **Avaliação da microestrutura de juntas soldadas do aço api 5l x80 utilizando processos smaw e fcaw**. In: CONSOLDA, 2017, JOINVILLE. ABS, 2017.
- [5] MOHSENI, M. **Evaluation of Toxicity of Dietary Chelated Copper in Juvenile Olive Flounder, Paralichthys olivaceus, Based on Growth and Tissue Copper Concentration**. Jornal of Word Aquaculture Society Volume 43, 2012
- [6] ZERBST et al. **Review on fracture and crack propagation in weldments – A fracture mechanics perspective**, Engineering Fracture Mechanics 132 (2014) 200-276. 2014.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION OF FRACTURE TOUGHNESS OF API 5L X80 STEEL WELDED JOINT

Epitácio Bronzeado Neto¹, netoebn@gmail.com

Marco Antonio dos Santos¹

João Vitor de Queiroz Marques¹

Walter Belarmino da Silva Filho¹

Jaime Matias da Silva Neto¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Avenida Aprígio Veloso 882. Bairro Universitário, 58429-900, Campina Grande, PB. Brasil.

Abstract. *The objective of this work was to evaluate the behavior and fracture toughness of the High Resistance and Low Alloy steel - API 5L X80 welded joint. Type-tested specimens (SENB) were used according to ASTM E1820. The method used to determine the fracture toughness was that the critical crack opening displacement (CTOD). The joints were welded by SMAW manual process and GMAW / FCAW robotic process. The results indicated a fracture toughness decrease in the HAZ-CG region with reductions of 36% and 43% for the manual and robotized processes respectively. The reduction in CTOD values was more pronounced when using the manual SMAW process.*

Keywords: CTOD, API 5L X80 Steel, Welded Joint, Microstructure.