

# DISTÂNCIAS $r_{wl}$ DOS ELOS-MAIS-FRACOS ATÉ A PONTA DA TRINCA POR OBSERVAÇÃO FRACTOGRÁFICA: COMPARAÇÃO COM VALORES TEÓRICOS <sup>(1)</sup>

Carlos Alexandre de Jesus Miranda <sup>(2)</sup>  
Arnaldo Homobono Paes de Andrade <sup>(3)</sup>

Na região de transição, da curva de variação da tenacidade com a temperatura dos aços ferríticos, é usual trabalhar com os dados de tenacidade à fratura, basicamente a Integral J no momento da clivagem,  $J_c$ . A previsão de  $J_c$  ou, a transferência dos valores medidos com corpos de prova padronizados para as estruturas reais, é dificultada pela grande variabilidade dos valores medidos na *transição* onde é usual se obter uma relação 1:10 entre o valor mínimo e o máximo medidos. Este grande espalhamento impede a obtenção de um valor característico, um valor  $J_c$  único, que caracterize o estado de tensões na ponta da trinca. Entre as abordagens existentes para a previsão de  $J_c$  associado a uma estrutura ou componente que esteja operando ou venha a operar na *transição*, existem métodos determinísticos e estatísticos.

Entre os primeiros, destaca-se a metodologia para previsão de  $J_c$  que utiliza a teoria de dois parâmetros J-Q e o conceito de elo-mais-fraco com a sua distância  $r_{wl}$  até a ponta da trinca. Entre os métodos estatísticos destaca-se a Curva Mestra e o conceito de Temperatura de Referência,  $T_0$ , adotados pela norma ASTM E1921-97.

Para este trabalho foi desenvolvido um programa experimental envolvendo ensaios de 65 corpos de prova de mecânica da fratura, realizados em 4 temperaturas na *transição*:  $-75$  °C,  $-90$  °C,  $-100$  °C e  $-106$  °C, confeccionados com um aço nacional com classificação nuclear (A508 classe 3), em três geometrias (CT, SENB e Charpy) com espessura  $B < 1T = 25.4$  mm, em uma única orientação.

Após os ensaios para medir  $J_c$ , a superfície de fratura de cada corpo de prova foi observada através de microscópio eletrônico de varredura para identificar o ponto de início da ruptura por clivagem (elo-mais-fraco) e medir a distância  $r_{wl}$  entre o elo-mais-fraco e a ponta da trinca. Para controle do processo de observação e medição alguns corpos de prova tiveram as duas superfícies de fratura observadas, e, também, algumas superfícies de fratura foram observadas pela segunda vez. Os resultados obtidos são discutidos e apresentados, em termos dos valores  $r_{wl}$  teóricos e os medidos e das fractografias, para cada geometria e temperatura de ensaio.

**Palavras-chave:** aços ferríticos, elo-mais-fraco, fractografia.

PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA  
DO IPEN  
DEVOLVER NO BALCÃO DE  
EMPRÉSTIMO

<sup>(1)</sup> Trabalho a ser apresentado no 55º Congresso da ABM – 24 a 28 de Julho de 2000, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>(2)</sup> IPEN-CNEN/SP, SP, Brasil - e-mail: cmiranda@net.ipen.br

<sup>(3)</sup> IPEN-CNEN/SP, SP, Brasil - e-mail: aandrade@net.ipen.br

## INTRODUÇÃO

A grande variabilidade dos valores de tenacidade à clivagem ( $J_c$  ou  $K_{Jc}$ ) medidos na região de transição entre os regimes de fratura frágil e de fratura dúctil dos aços ferríticos dificulta a transferência dos valores medidos com corpos de prova padronizados para as estruturas reais. Na teoria J-Q [O'Dowd e Shih, 1993], a integral J está associada ao carregamento aplicado e o parâmetro Q está associado ao nível de restrição à plasticidade que se tem na ponta da trinca e que, para cada material, irá depender da geometria trincada, do tamanho e do carregamento.

O elo-mais-fraco é o ponto à frente da ponta da trinca onde a tensão atuante supera o valor crítico do material, a tensão de clivagem,  $\sigma_c$ , iniciando, assim, a clivagem quando o material está trabalhando na *transição*. No patamar inferior a ruptura também ocorre por clivagem mas com outro mecanismo disparador. Este tipo de fratura apresenta uma superfície típica, diferente da superfície de fratura por fadiga ou por rasgamento dúctil (esta, quando se está no patamar superior). A distância do elo-mais-fraco até a ponta da trinca,  $r_{wl}$ , pode ser associada a uma propriedade do material e permite, desta forma, associá-la com o espalhamento natural dos valores de tenacidade à fratura medidos na *transição*. Landes [1993] sugeriu um procedimento para, utilizando a teoria J-Q e o princípio do elo-mais-fraco, determinar a distância  $r_{wl}$  teórica em um corpo fraturado e utilizá-la na previsão da tenacidade à clivagem para outra geometria e/ou temperatura. Este é um procedimento iterativo e é apresentado em detalhes por Miranda e Landes [1997].

Foi desenvolvido um programa experimental para medir valores de tenacidade à clivagem, na região de transição dúctil-frágil de um aço nuclear nacional, A508 classe 3, utilizando 63 corpos de prova (3 geometrias e uma única orientação:  $\frac{1}{2}T$  CT, SENB (seção  $B=9\text{mm}$  x  $W=18\text{mm}$ ) e Charpy pré-trincado) ensaiados em 4 temperaturas:  $-75^\circ\text{C}$ ,  $-90^\circ\text{C}$ ,  $-100^\circ\text{C}$  e  $-106^\circ\text{C}$ . Os resultados, valores  $J_c$  e  $K_{Jc}$  são apresentados e discutidos em outro trabalho. Neste trabalho os valores experimentais obtidos foram utilizados na determinação das distâncias  $r_{wl}$  teóricas e são comparadas com os valores medidos. Para tanto as superfícies de fratura dos corpos de prova ensaiados foram observadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) quando se procurou identificar o ponto de disparo da clivagem (elo-mais-fraco) e medir as respectivas distâncias  $r_{wl}$ .

## VALORES $r_{wl}$ MEDIDOS

A identificação das posições dos elos-mais-fracos e as respectivas medidas  $r_{wl}$  foram efetuadas a partir das fractografias realizadas em pelo menos uma das superfícies de fratura de todos os corpos de prova ensaiados utilizando, basicamente, o MEV do IPEN. Para controle do processo, algumas medidas foram refeitas, para algumas das superfícies de fratura já observadas e outras medidas foram realizadas na segunda superfície de fratura de alguns dos corpos de prova.

No processo de identificação da posição do elo-mais-fraco foi adotada a seguinte convenção ou código, de acordo com a dificuldade de se realizar esta identificação: certeza ("c") – quando era clara a identificação da região do elo-mais-fraco pela topologia das linhas que divergiam de um dado ponto da superfície de fratura sob análise, indicando que ali havia sido iniciado o processo de clivagem; provável

("p") – quando (a) esta região não era tão clara mas ainda se podia fazer esta identificação após uma análise mais cuidadosa da superfície de fratura, ou (b) havia duas posições prováveis para ser o elo-mais-fraco; incerta ("i") – foi classificada por "incerta" a identificação da região que não se enquadrava nas situações anteriores por apresentar vários prováveis locais de início da clivagem ou, mais usual, por não apresentar nenhum claro local de início da clivagem. Em alguns casos, a região do elo-mais-fraco foi identificada mas o ponto de disparo do processo de clivagem dentro desta região, o elo-mais-fraco propriamente dito, não foi claramente identificado. Nesta situação procurou-se fazer duas medidas que fornecem a faixa de largura desta região, na qual se supõe que o elo-mais-fraco esteja, referida sempre a ponta da trinca. As medidas repetidas na mesma superfície de fratura ou na segunda superfície de fratura de um mesmo corpo de prova apresentaram o mesmo grau de dificuldade e de dispersão observados nas primeiras medidas. Por este motivo estas medidas repetidas foram condensadas pelos valores mínimo e máximo encontrados.

### VALORES $r_{wl}$ TEÓRICOS

Landes [1993] apresentou um modelo para explicar a natureza do espalhamento observado na *transição* baseado em dois critérios: tensão máxima a frente da ponta da trinca e o princípio do elo-mais-fraco. Baseado no modelo anterior, na teoria J-Q [O'Dowd e Shih, 1993], e no princípio do elo-mais-fraco Landes [1995] propôs um método para prever valores de tenacidade à clivagem  $J_c$  nesta região. Em trabalhos posteriores esta metodologia, e de seus fundamentos, é apresentada em detalhes [Landes, 1996] e Miranda e Landes, 1997], com vários exemplos de aplicação. Com a mesma é possível prever os valores de tenacidade à clivagem  $J_c$  para outra geometria  $G_2$  e temperatura  $T_2$ , a partir de um dado conjunto de valores  $J_c$  medido experimentalmente para uma dada geometria  $G_1$  e temperatura  $T_1$ . Esta metodologia assume que: (1) a distribuição estatística dos elos-mais-fracos (valores  $r_{wl}$ ) é responsável pela espalhamento dos valores  $J_c$  e pode ser associada a uma propriedade do material e é invariante com a temperatura; (2) a tensão de clivagem do material não muda com a temperatura; e (3) o nível de tensões que provoca a clivagem é modificado pelo nível de *restrição* traduzido pelo parâmetro Q.

Para a aplicação desta metodologia é necessário dispor: (a) das curvas do fator Q versus  $\text{Log}(J/(b\sigma_0))$ , para as geometrias envolvidas, em função de  $a/W$  e de  $n$  (expoente do ajuste de Ramberg-Osgood) e (b) dos campos de tensões normalizadas em função das distâncias normalizadas à frente da ponta da trinca ( $\sigma_{yy}/\sigma_0$  versus  $r/(J/\sigma_0)$ ). Nestas expressões,  $b$  é o ligamento remanescente do corpo de prova,  $\sigma_0$  é a tensão de normalização (usualmente adota-se o limite de escoamento do material ou a "flow stress"),  $\sigma_{yy}$  é a tensão perpendicular ao plano da trinca. Esta metodologia pode ser vista como tendo 3 fases de aplicação, figura 1: **1ª fase: Cálculo de  $r_{wl}$**  – através do uso direto da teoria de dois parâmetros J-Q, calcula-se para cada valor  $J_c$  ( $J_{c1}$ ) medido com uma dada geometria  $G_1$  e temperatura  $T_1$ , o correspondente valor da distância  $r_{wl}$  associada. **2ª fase: Previsão de  $J_{c2}$**  – Como é necessário conhecer o valor de  $J_c$  para se ter o correto valor do parâmetro Q, e vice-versa, esta 2ª fase é um procedimento iterativo que se inicia arbitrando um valor para o parâmetro Q ( $Q_{2i}$ ) e, a partir do valor  $J_{c1}$  e  $r_{wl}$ , faz-se a previsão do valor  $J_{new,i}$  correspondente a  $J_{c1}$ , para uma nova geometria  $G_2$  e/ou temperatura  $T_2$ . A verificação do acerto do valor  $Q_{2,i}$  estimado é feita na 3ª fase.

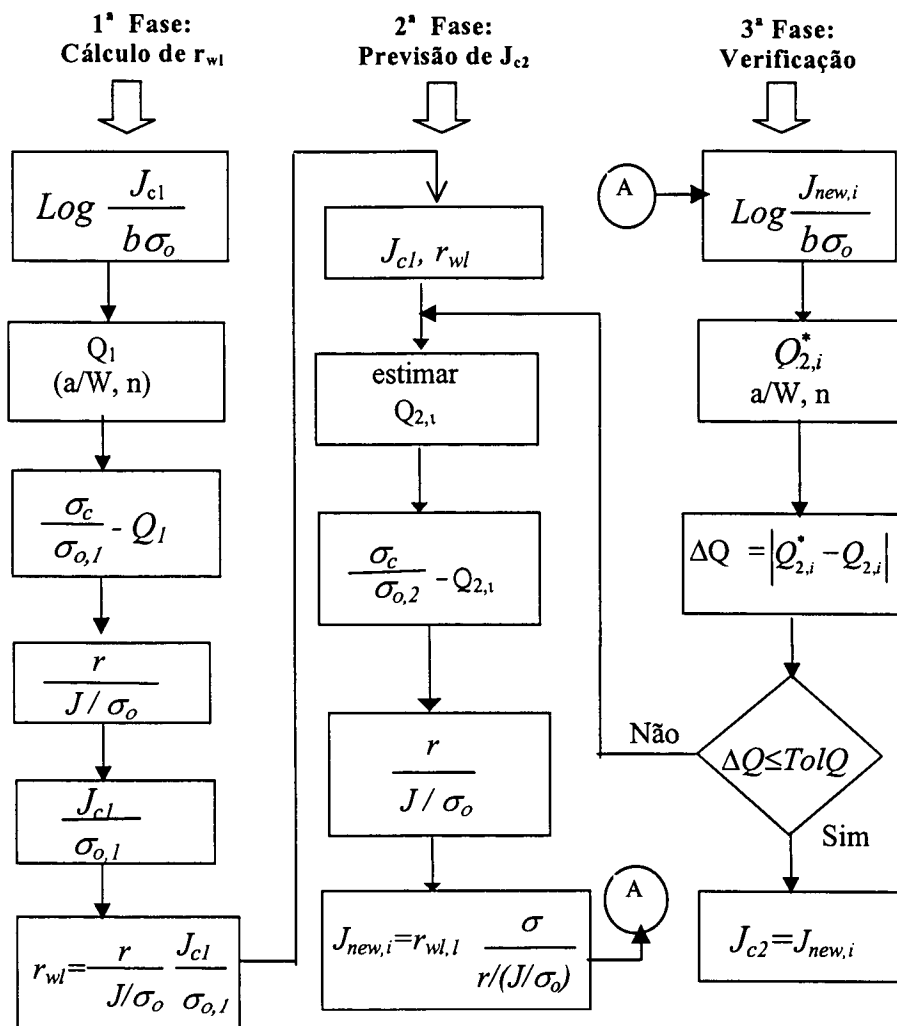


Figura 1: Esquema da metodologia para prever tenacidade à clivagem na *transição*

**3ª fase: Verificação** – Verificar o acerto do valor estimado para o parâmetro  $Q$  ( $Q_{2i}$ ) na 2ª fase, a partir de um valor de tolerância  $TolQ$  pré definido. Se não for atingida a convergência repete-se a 2ª fase para um outro valor do parâmetro  $Q$ . Caso a convergência tenha sido atingida o valor  $J_{new,i}$  é o valor  $J_{c2}$  desejado na nova temperatura e/ou geometria.

Os valores  $r_{wl}$  teóricos foram calculados a partir da aplicação da 1ª parte da metodologia de previsão de tenacidade à clivagem, utilizando as curvas dos campos de tensão normalizados e as curvas do fator  $Q$  [O'Dowd e Shih, 1993] da geometria SENB com  $a/W=0.5$  e  $n = 8$ ). Estes valores teóricos, confrontados com os valores experimentais, são apresentados na tabela 1 e nas figuras 2.a a 2.c, onde os triângulos representam os valores teóricos. .

**Valores  $r_{wl}$  Obtidos.** Os valores das distâncias  $r_{wl}$ , medidos e teóricos, são apresentadas na tabela 1. Na figura 2 é feita a comparação gráfica entre os mesmos. A incerteza dos valores medidos é representada, nas figuras, por uma barra horizontal. Nesta figura, os pontos marcados com "+", "o" e "\*" representam os valores medidos, e as barras horizontais delimitadas por "++", "oo" e "\*\*\*" representam as incertezas (dispersão) dos valores medidos, utilizando os corpos de prova Charpy,  $\frac{1}{2}T$  CT e 0.354T SENB, respectivamente.

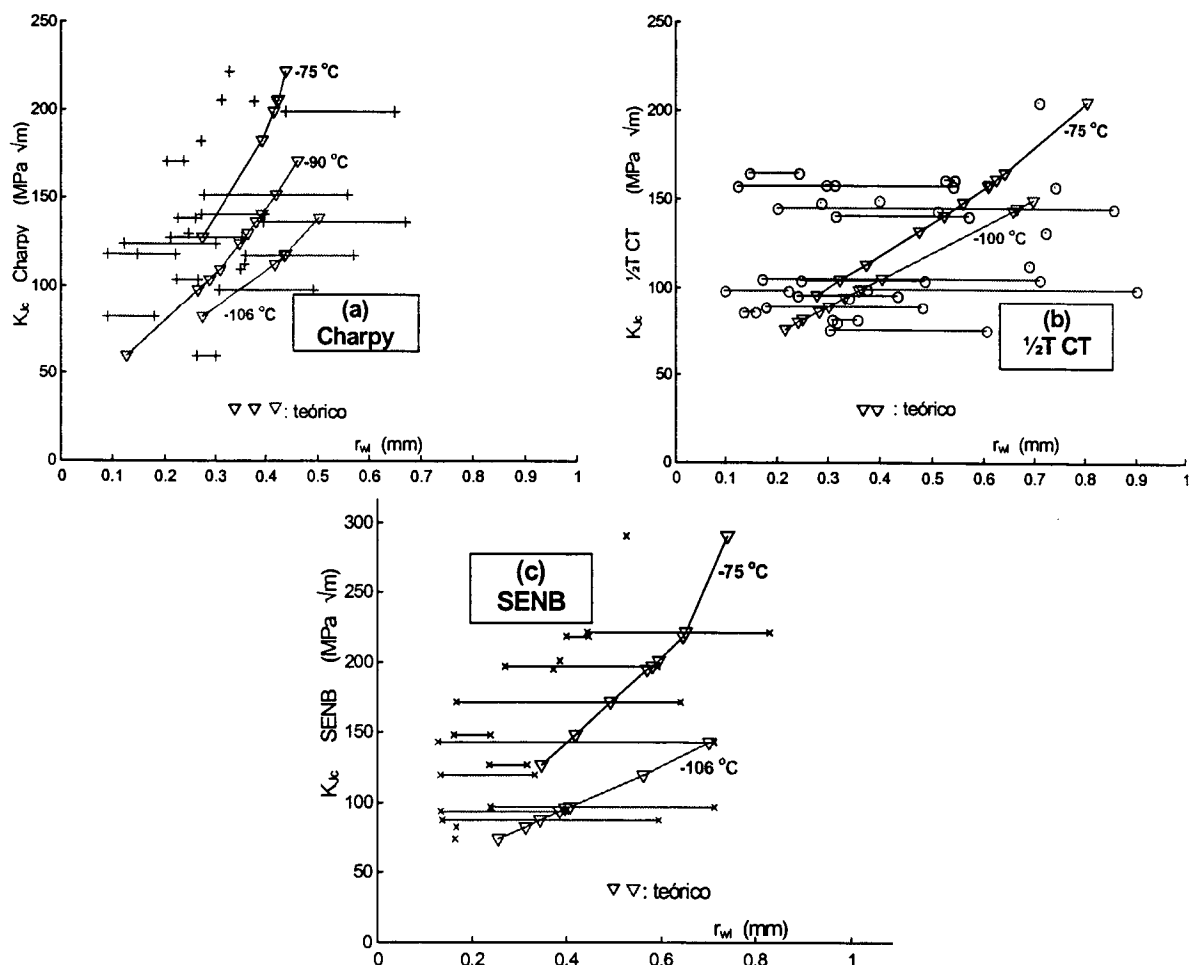


Figura 2: Distâncias  $r_{wI}$  – valores teóricos ( $\nabla$ ) versus valores experimentais

## FRACTOGRAFIAS

Nas figura 3 a 12, são apresentadas algumas fractografias realizadas nas superfícies de fratura, identificando a geometria, o número gravado no corpo de prova, a temperatura de ensaio e o código (i), (c) e (p) associado com a dificuldade de identificação da região do elo-mais-fraco. Algumas figuras trazem demarcadas por retângulos, a região onde deve se encontrar o elo-mais-fraco.

Algumas fractografias mostram detalhes em “zoom” das superfícies de fratura. Em particular, as figuras 6, 9, 11 e 12 são exemplos típicos de fractografias onde foi possível identificar uma micro-região onde provavelmente se originou a clivagem, podendo ser associada com o elo-mais-fraco, enquanto que as figuras 3 e 8 mostram exemplos de superfícies de fratura onde não foi possível identificar a região com o elo-mais-fraco. Em algumas superfícies de fratura foram observadas regiões, no interior do material, apresentando “dimples” (ver fig. 10) com o aspecto típico de coalescência de vazios. Estas regiões têm pequenas dimensões (largura de  $\approx 10 \mu\text{m}$ ). Isto pode ter sido devido a não-homogeneidades na matriz do material associadas a elevadas deformações induzindo plasticidade localizada.

Por fugir ao escopo deste trabalho, não foram realizadas análises mais detalhadas para, por exemplo identificar a composição química da partícula associada com o início da clivagem ou o seu tamanho.

T	# do CP	J <sub>c</sub> (kJ/m <sup>2</sup> )	K <sub>Jc</sub> MPa√m	r <sub>wl</sub> medido	código	r <sub>wl</sub> teórico
Charpy -106 °C	11	66.6	117.3	361/571	i	437
	12	61.6	112.4	358	i	417
	13	92.4	138.2	226/260	p	503
	14	66.9	117.7	147	c	438
	15	67.0	117.7	222/90	c	438
	16	32.6	82.1	90/181	p	275
Charpy -90 °C	01	51.6	103.3	266/223	p	288
	04	73.9	123.6	122/300	c	349
	05	45.8	97.4	307/492	p	266
	10	111.8	152.0	278/558	i	421
	17	17.2	59.7	263/300	p	126
	18	81.7	130.0	247	p	364
	19	58.1	109.6	351	i	310
	20	90.1	136.5	396/669	i	381
	21	95.5	140.5	273/398	p	392
22	141.4	171.0	206/239	c	461	
Charpy -75 °C	02	161.2	182.6	271	p	392
	03	190.3	198.4	439/649	c	416
	06	78.6	127.5	213/354	p	274
	07	236.7	221.2	329	p	439
	08	203.4	205.1	311	i	424
09	202.8	204.8	377	p	423	
½T CT -75 °C	07	125.5	161.	525/542	i	626
	08	120.0	157.2	122/540	c	609
	09	62.0	113.2	689	p	375
	10	203.9	205.4	706	p	803
	11	95.9	140.8	314/570	c	524
	12	43.9	95.2	241/432	p	280
	19	106.5	148.4	286	p	562
	20	52.2	103.9	248/485	c	324
	21	83.9	131.8	720	i	476
	22	120.4	157.8	738	p	610
23	121.1	158.3	295/311	c	613	
24	131.2	164.7	146/242	c	643	
½T CT -100 °C	01	38.1	88.8	178/480	i	302
	02	31.8	81.2	307/356	i	252
	03	42.5	93.7	339	p	332
	04	108.3	149.7	397	p	697
	05	101.6	144.9	200/854	i	665
	06	46.7	98.3	72/222	c	361
	13	47.2	98.8	375/900	i	364
	14	53.5	105.2	172/710	p	404
	15	30.6	79.6	317	c	242
	16	27.5	75.4	302/604	p	216
17	35.6	85.8	135/157	p	283	
18	100.1	143.9	510	i	659	
SENB -75 °C	2	236.7	221.3	444/832	p	654
	4	183.6	194.9	371	p	571
	5	231.7	218.9	400/447	i	648
	7	196.0	201.4	384	c	595
	8	105.0	147.4	161/237	p	418
	9	77.6	126.7	236/316	p	346
	10	188.6	197.5	270/594	p	581
	11	406.5	290.0	527	c	744
17	141.2	170.9	167/643	p	493	
SENB -106 °C	1	36.7	87.1	135/595	i	344
	6	26.3	73.7	164	p	254
	12	43.8	95.1	240	i	395
	13	45.4	96.9	238/714	p	407
	14	42.1	93.4	133/400	p	384
	15	99.0	143.1	128/714	i	705
	16	69.0	119.5	133/333	i	562
	18	33.0	82.6	167	i	313

Tabela 1: Medidas das distâncias r<sub>wl</sub> (μm)

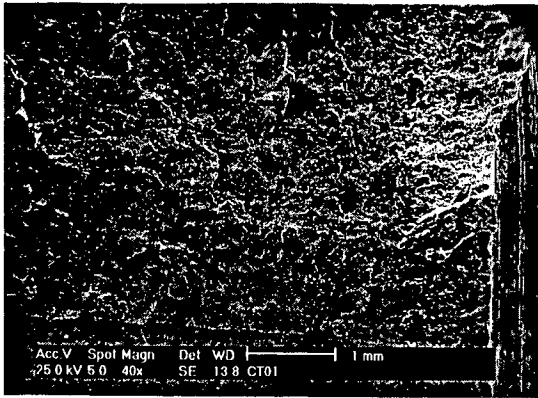


Figura 3: CT 01, T = -100 °C (i)

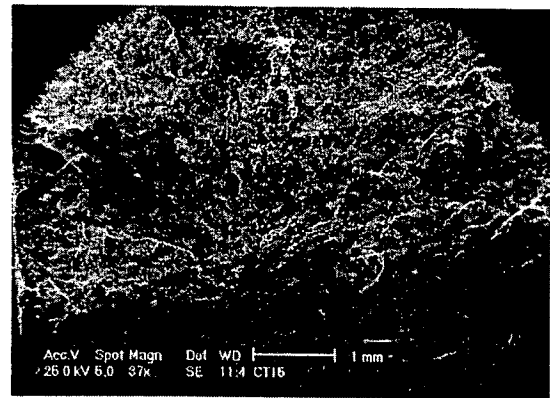


Figura 4: CT 15, T = -100 °C (c)

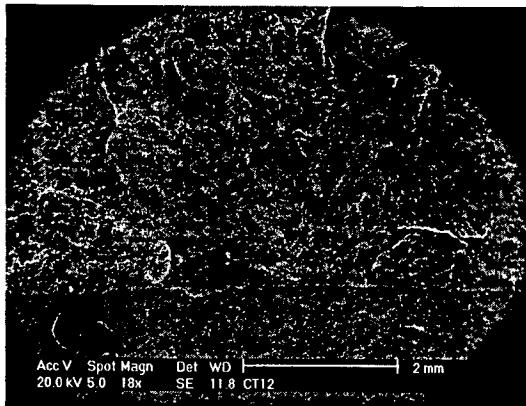


Figura 5: CT 12, T = -75 °C (p)

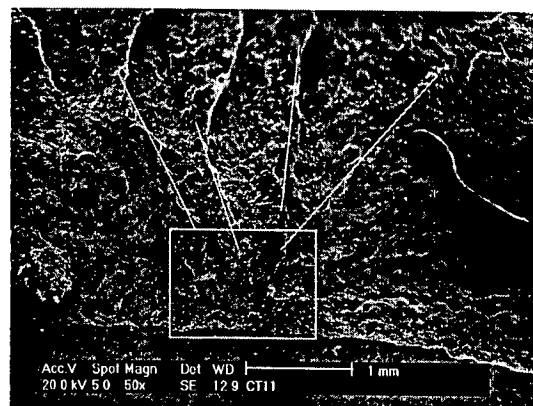


Figura 6: CT 11, T = -75 °C (c)

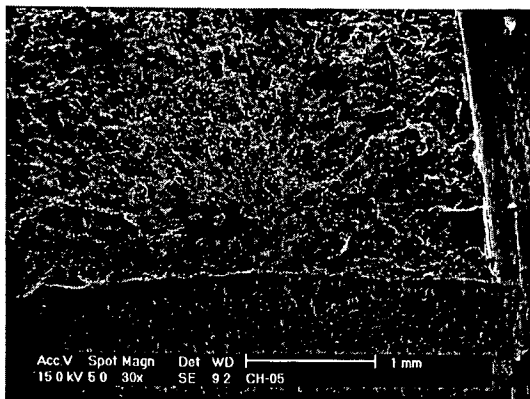


Figura 7: CHARPY 05, T = -90 °C (p)

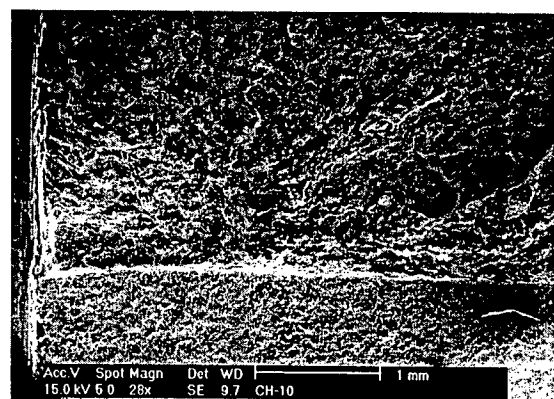


Figura 8: CHARPY 10, T = -90 °C (i)

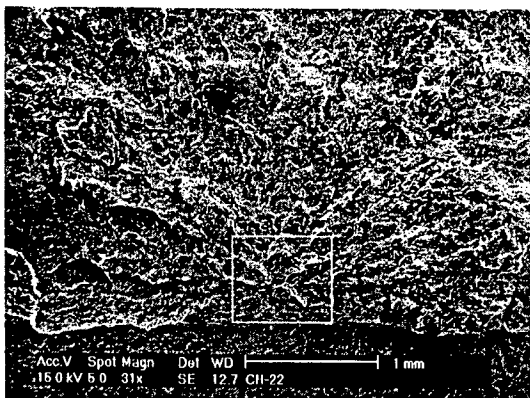


Figura 9.a: CHARPY 22, T = -90 °C (c)

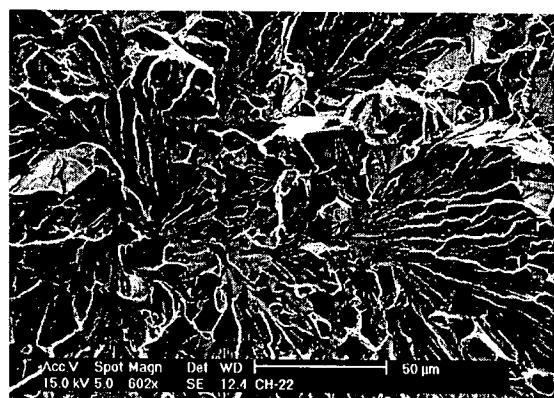


Figura 9.b: CHARPY 22 (aumento 600X)

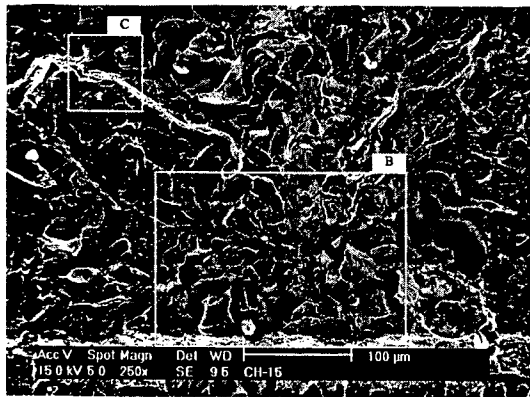


Figura 10.a: CHARPY 15, T = -106 °C (c)

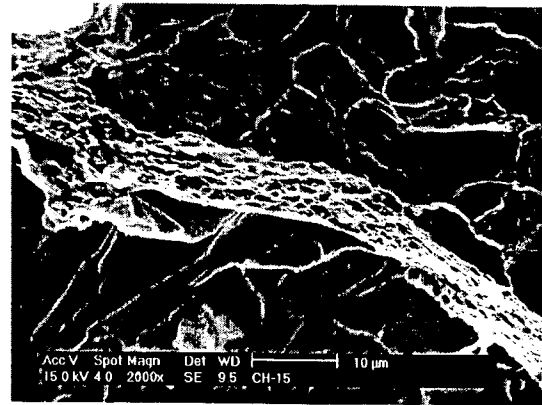


Figura 10.b: CHARPY 15 (aumento 2000X)

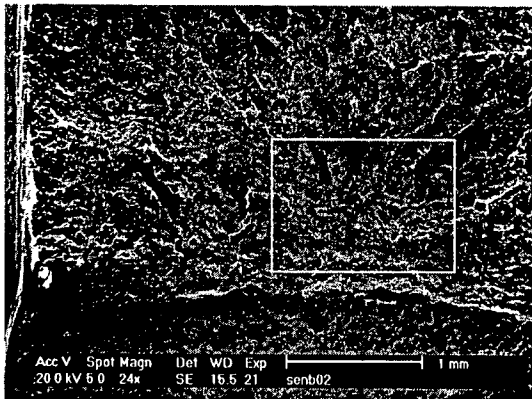


Figura 11.a: SENB 02, T = -75 °C (p)

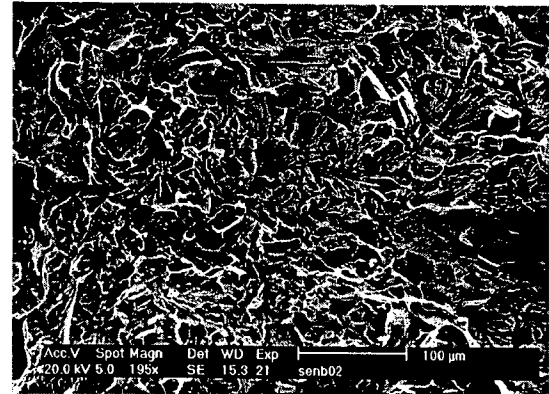


Figura 11.b: SENB 02 (aumento 200X)

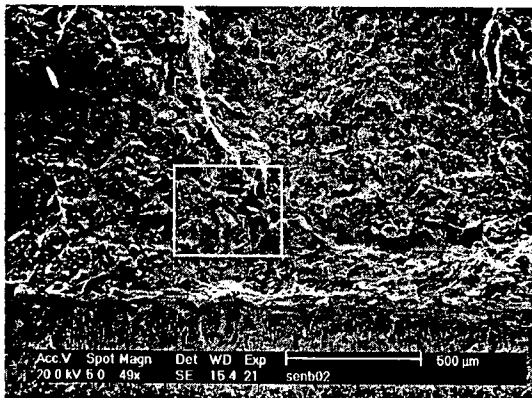


Figura 12.a: SENB04, T = -75 °C (p)

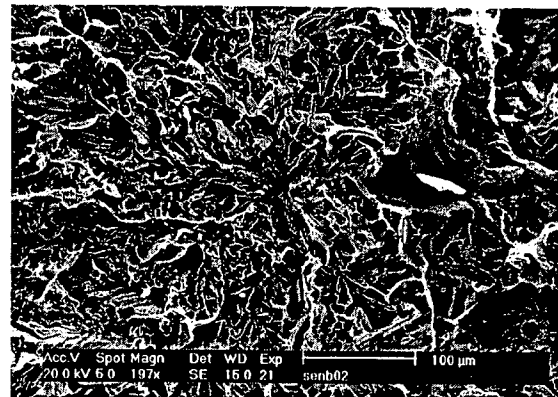


Figura 12.b: SENB04 (aumento 200X)

**Temperatura de Referência,  $T_0$ .** Este valor  $T_0$  serve para posicionar a chamada Curva Mestre no eixo das temperaturas. Esta curva, proposta por Wallin [1991], define a variação com a temperatura dos valores medianos de tenacidade à clivagem ( $J_c$ ), expressos termos do fator intensidade de tensão equivalente,  $K_{Jc}$  (em  $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ ). A temperatura de referência de um aço ferrítico é definida como o valor de temperatura de ensaio na qual se obteria  $K_{Jc}$  mediano =  $100 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ . O processo para obtenção deste valor  $T_0$  foi normatizado pela ASTM [ASTM E1921, 1997] e é descrito em detalhes por Miranda [2000], onde é aplicado a vários aços, inclusive ao aço utilizado neste trabalho.

Segundo a metodologia da norma ASTM E1921/97, para este material  $T_0$  pode

## REFERÊNCIAS

ASTM E1921, 1997. *Test Method for Determination of the Reference Temperature,  $T_o$ , for Ferritic Steels in the Transition Range*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.

Landes, J. D., 1993. *A Two-Criteria Statistical Model for Transition Fracture Toughness*. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, v. 16, n. 11, p. 1161-1174.

Landes, J. D., 1995. *Constraint and Statistical Adjustment Models Applied to Transition Fracture Toughness Data*. In: *Constraint Effects in Fracture: Theory and Application*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA. ASTM STP 1244.

Landes, J. D., 1996. *J-Q Model for Predicting Fracture in the Ductile-Brittle Transition*. *International Journal of Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, v. 19, n. 7, p. 869-877.

Mäntylä, M.; Rossol, A.; Nedbal, I.; Prioul, C.; Marini, B., 1999. *Fractographic Observations of Cleavage Fracture Initiation in a Bainitic A508 Steel*. *Journal of Nuclear Materials*, v. 264, p. 257-262.

Miranda, C. A. J.; Landes, J. D., 1997. *Behavior Prediction in the Ductile-to-Brittle Transition, Part I: An Overview*. Brazilian Symposium on Reactor Physics and Thermal Hydraulics - XI ENFIR, 18 a 22/Agosto, Poços de Caldas, MG, p. 775-780.

Miranda, C. A. J., 1999. *Obtenção da Tensão de Clivagem e Nível de Confiabilidade na Determinação da Temperatura de Referência de Aços Ferríticos na Transição: Abordagem Numérica e Experimental*. Tese de doutorado, IPEN/USP.

Miranda, C. A. J., 2000. *A Curva Mestra e o Conceito de Temperatura de Referência Para Ajustar os Valores de Tenacidade à Clivagem na Transição de Aços Ferríticos*. Submetido ao Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Natal, RN.

O'Dowd, N. P.; Shih, C. F., 1993. *Two-Parameter Fracture Mechanics: Theory and Applications*. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC. (Report NUREG/CR-5958).

Sokolov, M. A.; Wallin, K.; McCabe, D. E., 1997. *Application of Small Specimens to Fracture Mechanics Characterization of Irradiated Pressure Vessels Steels*. *Fatigue and Fracture Mechanics: 28<sup>th</sup> Volume*. ASTM STP 1321, p. 263-279.

Wallin, K., 1991. *Fracture Toughness Transition Curve Shape for Ferritic Structural Steels*. Joint FEEG/ICF International Conference on Fracture of Engineering Materials, Singapore, August 6-8, p. 83-88.

Watanabe, J.; Iwadate, T.; Tanaka, Y.; Yokobori, T.; Ando, K., 1987. *Fracture Toughness in the Transition Region*. *Engineering Fracture Mechanics*, v. 28, p. 589-600.

# DISTANCES $r_{wl}$ FROM THE WEAKEST LINK TO THE CRACK TIP BY FRACTOGRAPHICAL OBSERVATION: COMPARISON WITH THEORETICAL VALUES <sup>(1)</sup>

Carlos Alexandre de Jesus Miranda <sup>(2)</sup>  
Arnaldo Homobono Paes de Andrade <sup>(3)</sup>

In the *transition* region of the toughness versus temperature curve, shown by the ferritic steels, it is usual to work with fracture toughness values, basically the J-Integral at the cleavage,  $J_c$ . The prediction of  $J_c$  or, the transfer of the  $J_c$  values measured with standard specimens to the actual structures, in this region, is difficult due to the great scatter observed in the measured values: it is usual to get a ratio about 1:10 between the maximum and the minimum measured values. Due to this scatter it is almost impossible to have a single characteristic value, a  $J_c$  value that characterizes the stress field near the crack tip. There are some deterministic and statistical approaches to predict  $J_c$  in a structure or component operating in the *transition* region.

Among the formers one should be pointed out: the methodology to predict  $J_c$  that uses the two parameters J-Q theory and the weak-link concept with its characteristic distance  $r_{wl}$  to the crack tip. Among the statistical methods the so-called Master Curve and its reference temperature,  $T_o$ , was adopted by the ASTM (E1921-97).

For this work an experimental program was developed with the testing of 65 fracture mechanics specimens, made from a national nuclear steel (A508 class 3) in three geometries, CT, SENB and Charpy, with thickness  $B < 1T = 25.4$  mm, only one orientation, tested in 4 *transition* temperatures:  $-75$  °C,  $-90$  °C,  $-100$  °C and  $-106$  °C.

After the testing to measure  $J_c$ , the fracture surfaces of all specimens were observed with an electronic scanning microscope to identify the points where the cleavage fracture was triggered (weak links) and to measure, for each specimen, the distance  $r_{wl}$  between the weak link and the crack tip. To control the observational and measuring processes some specimens had both fracture surfaces scanned and, also, some surfaces were scanned twice. The obtained results are presented and discussed in terms of the theoretical and the measured  $r_{wl}$  values and the fractographies, for each geometry and testing temperature.

**Keywords:** ferritic steel, weakest link, fractographical observation.

---

<sup>(1)</sup> Paper to be presented in the 55<sup>o</sup> ABM Congress – July 24 to 28, 2000, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

<sup>(2)</sup> IPEN-CNEN/SP, SP, Brazil - e-mail: cmiranda@net.ipen.br

<sup>(3)</sup> IPEN-CNEN/SP, SP, Brazil - e-mail: aandrade@net.ipen.br





# CENTRO DE ENGENHARIA NUCLEAR

## Mecânica Estrutural

### Distâncias $r_{wl}$ dos Elos-mais-Fracos Até a Ponta da Trinca por Observação Fractográfica: Comparação com Valores Teóricos

(Trabalho apresentado no 55º Congresso da ABCM, realizado no Rio de Janeiro / RJ, no período de 24 a 28 de Julho de 2000  
CD-ROM com trabalhos)

Artigo Científico  
P&D.CENM.CENM.001.00  
ARTC.01.00

AUTOR	Rubrica	Data	VERIFICADOR	Rubrica	Data
Carlos Alexandre de J. Miranda	<i>CAJ</i>	13/11/00	Miguel Mattar Neto	<i>MMN</i>	13.11.00

APROVAÇÕES		Rubrica	Data
Chefe de Área	Miguel Mattar Neto	<i>MMN</i>	13.11.00
Líder de Projeto	Miguel Mattar Neto	<i>MMN</i>	13.11.00
Gerente do Centro	José Augusto Perrota	<i>JAP</i>	14/11/00

ARQUIVO			

IPEN/CNEN-SP  
BIBLIOTECA  
"TEREZINE ARANTES FERRAZ"

Formulário de envio de trabalhos produzidos pelos pesquisadores do IPEN para inclusão na  
Produção Técnico Científica

AUTOR(ES) DO TRABALHO:

Carlos Alexandre de Jesus Miranda

LOTAÇÃO: CENM

RAMAL: 9437

TIPO DE REGISTRO:

art. / períod.:	<input type="checkbox"/>	Publ. IPEN	<input checked="" type="checkbox"/>	resumo	<input type="checkbox"/>
cap. de livro	<input type="checkbox"/>	Art. conf		outros	<input type="checkbox"/>
				(folheto, relatório, etc...)	

TITULO DO TRABALHO:

Distâncias  $R_{wl}$  da Eln - mais - Fracos até  
a Ponte de Trincea por Observação Fractográfica:  
comparação com valores Teóricos

APRESENTADO EM: (informar os dados completos - no caso de artigos de conf., informar o título da conferência, local, data, organizador, etc..)

55º Congresso do ABCM, Rio de Janeiro -  
RJ, de 24 a 28 de julho de 2000  
Congresso Anual da

PALAVRAS CHAVES PARA IDENTIFICAR O TRABALHO: Associação Bras. de Metalurgia e Materiais

ASSINATURA: Carlos A. de Jesus Miranda

DATA: 17/11/00