

## MANUAL DE AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE DE EQUIPAMENTOS ESTÁTICOS

Ediberto Bastos Tinoco – Petrobras

Carlos Bruno Eckstein – Petrobras

### SUMÁRIO

1. OBJETIVO.....	1
2. INTRODUÇÃO .....	1
3. - APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DE USO .....	2
4. INTERAÇÃO ENTRE DESCONTINUIDADES.....	3
5. RECATEGORIZAÇÃO DE DESCONTINUIDADES .....	4
6. PROCEDIMENTO 1 - DESCONTINUIDADES NO COSTADO E TAMPOS DE EQUIPAMENTOS.....	5
6.1. DESCONTINUIDADE NA REGIÃO DE SOLDA DE COSTADOS ESFÉRICOS.....	6
6.2. DESCONTINUIDADE NA REGIÃO DE SOLDA DE COSTADOS CILÍNDRICOS E TAMPOS TOROESFÉRICOS OU ELÍPTICOS.....	7
7. PROCEDIMENTO 2 – DESCONTINUIDADES NA SOLDA DO BOCAL E CASCO .....	9
7.1. CASOS COBERTOS POR ESTE ITEM .....	9
7.2. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS .....	10
7.3. TAMANHO MÁXIMO ADMISSÍVEL DE DESCONTINUIDADE.....	11
8. “LOWER BOUND” DA TENACIDADE À FRATURA.....	13

## 1. OBJETIVO

O objetivo deste Manual é estabelecer os procedimentos necessários à avaliação de descontinuidades planares, localizadas em cordões de solda e costados de vasos de pressão cilíndricos e esféricos, num nível simplificado de avaliação (nível 1).

## 2. INTRODUÇÃO

A avaliação das descontinuidades planares existentes num dado equipamento deverá ser realizada a partir de um dos procedimentos constantes neste manual, que são:

Procedimento 1: Descontinuidades localizadas no metal base e metal de solda do costado e tampos de equipamentos cilíndricos e esféricos, distantes das regiões de influência de descontinuidades geométricas, tais como bocais e transições de espessura e de forma;

Procedimento 2: Descontinuidades localizadas na região da solda de ligação entre bocais e costado de equipamentos esféricos e cilíndricos e entre bocais e tampos toroesféricos, elipsoidais e hemisféricos;

As descontinuidades planares localizadas próximas às regiões de descontinuidades geométricas não citadas, tais como pernas, berços e saias de suporte de vasos de pressão, transição tampo-costado, transição de espessura e transição cilindro-cone, não estão cobertas por este manual.

Este manual é baseado no nível 1 do procedimento inglês BS-7910 (1999) e do API RP 579, sendo considerado o mais simples dos três níveis de avaliação de descontinuidades planares. A avaliação de descontinuidades segundo os critérios definidos pelo BS-7910 (1999) é realizada através da localização do ponto de trabalho da descontinuidade (coordenadas  $Sr$  e  $Kr$ ) no diagrama de avaliação de falha (sigla em inglês FAD). Para tanto, torna-se necessário o cálculo das contribuições relativas ao colapso da estrutura (local ou global) - coordenada  $Sr$  e da parcela que diz respeito à fratura frágil do material - coordenada  $Kr$ .

O procedimento de cálculo apresentado pelo BS-7910 permite que o valor de tenacidade do material seja considerado tanto como CTOD (*crack tip opening displacement*) quanto como  $K_{IC}$  (tenacidade à fratura). Neste manual será adotado o valor de  $K_{IC}$ .

Caso não se conheça a tenacidade do material analisado, é fornecido no item 8 deste manual um procedimento extraído do API RP 579 para se estimar um valor mínimo (*lower bound*) de tenacidade à fratura ( $K_{IC}$ ), a partir da temperatura mínima de projeto e da especificação do material.

Para uso das soluções apresentadas nos itens 6.1 e 6.2, o usuário deve avaliar previamente se a temperatura mínima e a tenacidade real do material (caso existente) sejam compatíveis com os valores mínimos arbitrados.

A avaliação das descontinuidades deverá ser realizada após a utilização dos critérios de interação e de categorização, mostrados nos itens 4.0 e 5.0 deste manual.

Neste manual, visando facilitar a obtenção das dimensões máximas admissíveis de descontinuidades planares para cada tipo de equipamento, foram criadas algumas categorias de descontinuidades (faixas de tamanhos) e representados seus resultados na forma de gráficos, conforme mostrado nos item 6.0 e 7.0, relativos às partes 1 e 2. Em relação ao procedimento 2, que trata das descontinuidades nas soldas de ligação entre bocais e costados, também são apresentados gráficos simplificados que permitem obtenção direta da sua altura ( $h$ ) máxima admissível em função da espessura do costado do equipamento ou da espessura total do costado mais chapa de reforço ou da espessura total do reforço integral.

Na figura 2.1 são apresentadas as dimensões a serem consideradas para cada tipo de descontinuidade planar, com a terminologia empregada. As descontinuidades tratadas neste manual abrangem apenas as internas (embebidas) e as superficiais. Exemplos de descontinuidades planares são trincas, falta de fusão e falta de penetração em cordões de solda. Trincas passantes não são admissíveis, pois estão associadas a vazamento de produtos perigosos, normalmente tóxicos, corrosivos ou inflamáveis.

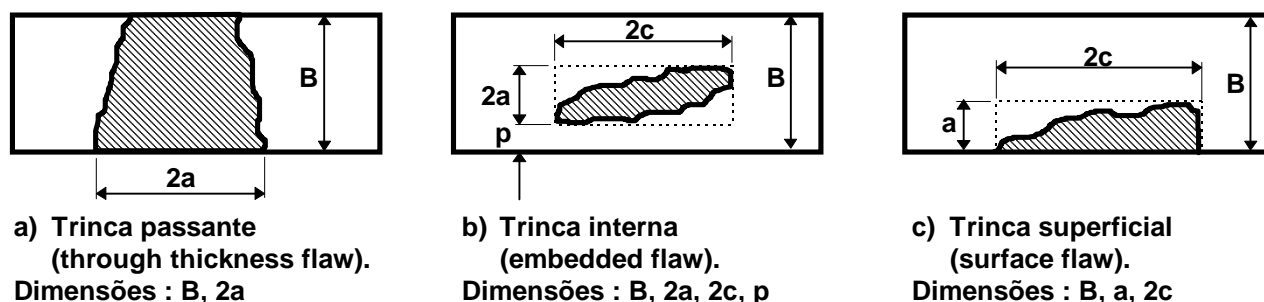


Fig. 2.1 - Dimensões das descontinuidades mais comuns - conf. Figura 8 do BS-7910 (1999)

### 3. - APLICABILIDADE E LIMITAÇÕES DE USO

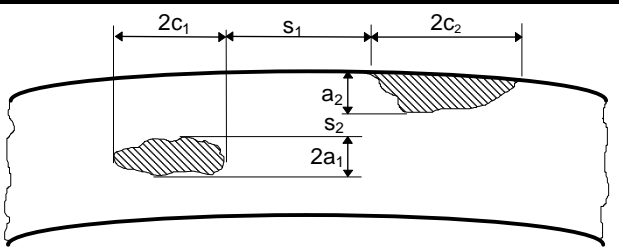
- i) Os procedimentos de avaliação deste manual podem ser usados para componentes pressurizados contendo descontinuidades planares. Os componentes pressurizados cobertos por este manual compreendem os vasos de pressão, as tubulações, os tanques de armazenamento e as esferas de GLP, projetados segundo o código ASME seção VIII, divisão 1 ou 2.
- ii) A temperatura de projeto deve ser menor que 400°C para aço carbono, menor que 450°C para aço baixa liga e menor que 510°C para aço alta liga.
- iii) Equipamentos projetados à fadiga não estão cobertos por este manual.
- iv) Os procedimentos de avaliação deste manual não levam em conta um eventual crescimento subcrítico de trinca devido à ação do meio.
- v) Este manual contempla a avaliação de descontinuidades em equipamentos, a partir da resistência máxima do material e da temperatura mínima de projeto.
- vi) O material deve ter resistência à tração menor ou igual a 670 MPa e resistência ao escoamento menor ou igual a 400 MPa.
- vii) A espessura de parede do componente na região da descontinuidade deve ser menor ou igual a 100 mm.
- viii) No caso de descontinuidade superficial ou interna, sua dimensão  $a$  ou  $2a$  (vide fig. 2.1) deve ser menor ou igual a 50% da espessura nominal do componente.
- ix) Com relação a procedimento 1 deste manual (item 6.0), as descontinuidades consideradas devem ser orientadas na direção axial ou circunferencial e localizadas a uma distância maior ou igual a  $2,5\sqrt{R.t}$  de qualquer descontinuidade estrutural (bocais, transição de forma, pernas e saias), onde  $R$  é o raio interno do equipamento e  $t$  é a sua espessura nominal. Para o procedimento 2 (item 7.0) são consideradas apenas as descontinuidades planares existentes na solda de ligação entre bocais e cascos dos equipamentos.
- x) A avaliação de descontinuidade na condição de teste hidrostático não é considerada neste manual.

#### 4. INTERAÇÃO ENTRE DESCONTINUIDADES

As dimensões finais das descontinuidades a serem avaliadas são o produto da interação entre descontinuidades próximas na mesma solda, de acordo com os critérios esquematizados a seguir.

#### DESENHOS ESQUEMÁTICOS E CRITÉRIOS DE INTERAÇÃO ENTRE DESCONTINUIDADES

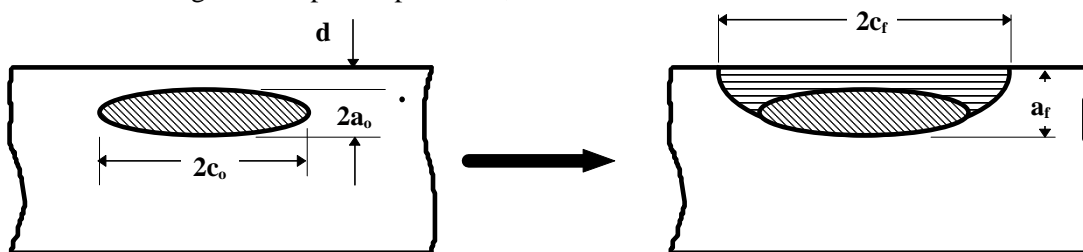
CASO	DESENHO ESQUEMÁTICO	TESTE	CRITÉRIO
Caso 1		$s_1 < c_1 + c_2$ e $s_2 < c_1 + c_2$	projetar as trincas no mesmo plano  $2c_e = 2c_1 + s_2 + 2c_2$
Caso 2		$s < c_1 + c_2$	$a_e = a_1$ ou $a_2$ (maior valor)  $2c_e = 2c_1 + s + 2c_2$
Caso 3		$s_1 < c_1 + c_2$ e $s_2 < a_1 + a_2$	$2a_e = 2a_1 + s_2 + 2a_2$  $2c_e = 2c_1 + s_1 + 2c_2$
Caso 4		$s < c_1 + c_2$	$2c_e = 2c_1 + 2c_2 + s$  $2a = 2a_1$ ou $2a_2$ (maior valor)

Caso 5		$s_1 < c_1 + c_2$ $e$ $s_2 < a_1 + a_2$	$a_e = 2a_1 + s_2 + a_2$ $2c_e = 2c_1 + s_1 + 2c_2$
--------	---	---	---

Todas as descontinuidades mapeadas pela equipe de inspeção de equipamentos deverão possuir informações suficientes, obtidas por ensaio de ultrassom, de forma a permitir sua localização em relação às demais descontinuidades próximas e em relação às superfícies dos componentes. A deficiência na localização e no dimensionamento das descontinuidades poderá induzir a resultados não confiáveis.

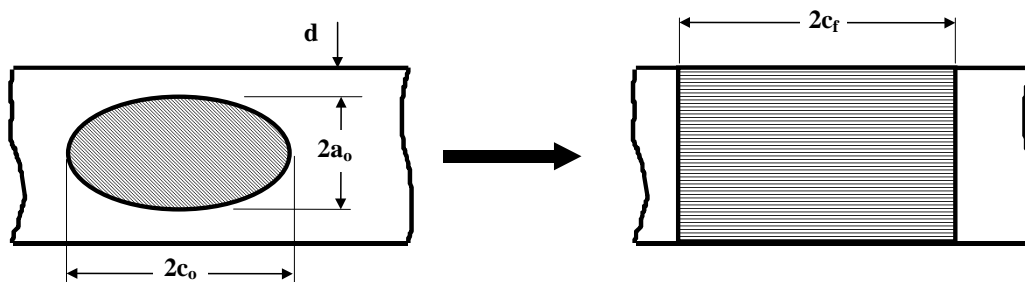
## 5. RECATEGORIZAÇÃO DE DESCONTINUIDADES

Descontinuidades internas (*buried flaw*) que possuam ligamento ( $d$ ) inferior a 20% da espessura devem ser recategorizadas para superficiais, com dimensões estabelecidas conforme abaixo.



Comprimento equivalente:  $2c_f = 2c_o + 2d$   
 - Profundidade equivalente:  $a_f = 2a_o + d$

Descontinuidades internas (*buried flaw*) ou superficiais (*surface flaw*), que possuam altura ( $2a$ ) ou ( $a$ ) superior a 80% da espessura devem ser recategorizados como passantes, com dimensões estabelecidas conforme abaixo.



**Descontinuidades internas :**

Se  $2.a_0 \geq 80\%.B$  , onde B é a espessura nominal

→ re categorizar a descontinuidade para passante com :

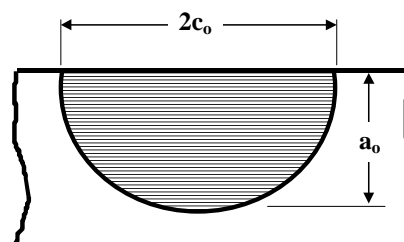
- comprimento equivalente:  $2c_f = 2c_0 + B$

**Descontinuidades superficiais :**

Se  $2.a_0 \geq 80\%.B$

→ re categorizar a descontinuidade para passante com :

- comprimento equivalente:  $2c_f = 2c_0 + B$

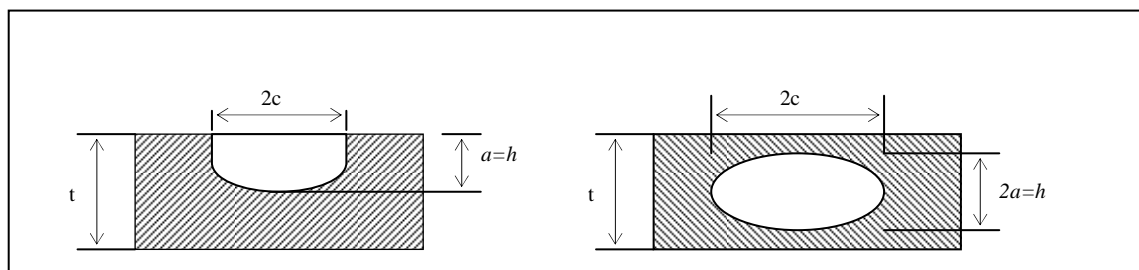


## 6. PROCEDIMENTO 1 - DESCONTINUIDADES NO COSTADO E TAMPOS DE EQUIPAMENTOS

Estas regiões são todas aquelas distantes mais de  $2,5\sqrt{R.t}$  das soldas dos bocais, das soldas das pernas de sustentação ou saias dos equipamentos e de todas as outras transições de espessura e transições geométricas existentes. Nestas regiões atuam apenas tensões de membrana, sendo a máxima tensão arbitrada como sendo igual ao limite admissível do código do projeto associado.

Os fatores de segurança (FS) adotados são baseados no BS-7910 para conseqüências de falhas severas, sendo igual a 1.4 para tensão atuante, 1.2 para as dimensões da descontinuidade e 1.2 para a tenacidade do material (Na confecção deste manual foi adotado o valor *lower bound* de tenacidade do item 8.0 e, por isso, o FS da tenacidade não foi utilizado).

As descontinuidades internas (*embedded flaw*) e superficiais na região do costado e tampos dos equipamentos são cobertas por este manual, estando as dimensões básicas indicadas na figura 6.1 a seguir.



**Fig. 6.1 – Parâmetros dimensionais das discontinuidades tratadas neste item**

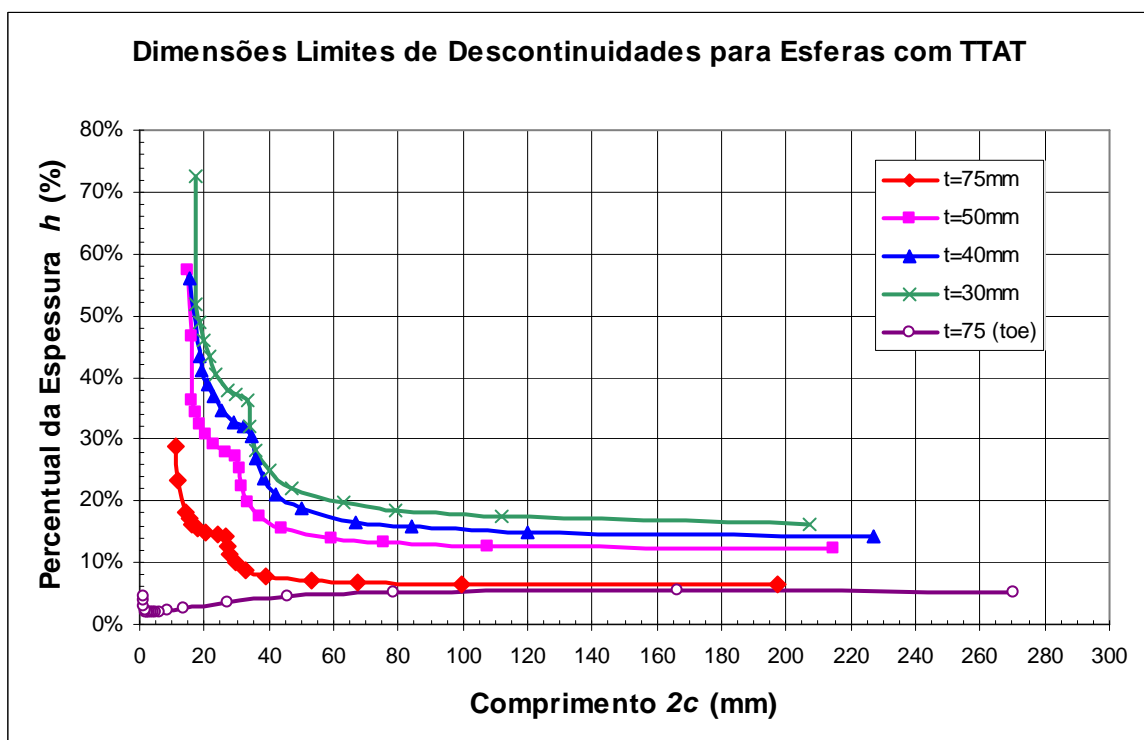
### 6.1. DESCONTINUIDADE NA REGIÃO DE SOLDA DE COSTADOS ESFÉRICOS

As discontinuidades máximas admissíveis são apresentadas na forma de gráfico para quatro espessuras diferentes (30, 40, 50 e 75 mm). As curvas do gráfico da figura 6.1 relacionam os comprimentos admissíveis ( $2c$ ) de discontinuidades superficiais ou subsuperficiais com as alturas ( $h$ ), medidas em percentual da espessura, sendo cada curva associada a uma certa espessura de costado. Foi considerada a temperatura mínima de  $-20^{\circ}\text{C}$  do costado que corresponde à condição de vazamento de GLP, estando relacionada a tenacidades do material de  $60\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  (para espessuras de 30 e 40 mm), de  $55\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  (para espessura de 50 mm) e de  $50\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  (para espessura de 75 mm).

Por ser comum em esfera de GLP, todos os cordões de solda são considerados como tendo recebido tratamento térmico de alívio de tensão (TTAT). A tensão de membrana remota atuante é considerada igual à tensão admissível do material ASTM A 516 Gr 70 (170 MPa), normalmente utilizado nos projetos de esfera de GLP, conforme código ASME Sec. VIII Div 2.

Por exemplo, uma esfera de espessura igual a 50 mm não deve possuir uma discontinuidade planar de 10 mm (20%) de altura ( $h$ ) com comprimento maior que 32 mm. Para essa mesma esfera, a máxima altura de discontinuidade permitida para um comprimento muito grande (200 mm) é de 6 mm (12%).

A curva indicada por *toe* deve ser usada para as discontinuidades superficiais que se localizam na margem do reforço da solda. Elas são mais críticas, pois podem se propagar, na direção do comprimento, induzidas por um campo de tensão que se concentra especificamente nessa região. Essas discontinuidades devem, preferencialmente, ser removidas por esmerilhamento.



**Fig. 6.1 – Limites de descontinuidade para espessura de até 75 mm – Esfera com TTAT (Resultados válidos para trincas superficiais e subsuperficiais)**

## 6.2. DESCONTINUIDADE NA REGIÃO DE SOLDA DE COSTADOS CILÍNDRICOS E TAMPOS TOROESFÉRICOS OU ELÍPTICOS

As descontinuidades máximas admissíveis para este caso também são apresentadas na forma de gráficos para três espessuras diferentes (25, 40 e 60 mm). As figuras 6.2 e 6.3 apresentam curvas que relacionam os comprimentos admissíveis ( $2c$ ) de descontinuidades superficiais ou subsuperficiais com as alturas ( $h$ ), medidas em percentual da espessura, sendo cada curva associada a uma certa espessura de costado. Foi considerada a temperatura mínima do costado de  $0^{\circ}\text{C}$ , estando relacionada a tenacidades do material ASTM A 516 Gr 60 de  $80\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  (para espessuras de 25 mm), de  $70\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  (para espessura de 40 mm) e de  $60\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$  (para espessura de 60 mm).

São consideradas duas possibilidades: as soldas sem tratamento térmico de alívio de tensão -TTAT (figura 6.2) e com TTAT (figura 6.3). A tensão de membrana remota atuante é considerada igual à tensão admissível do material ASTM A 516 Gr 60 (125 MPa), conforme código ASME Sec. VIII Div 1.

A curva indicada por *toe* se refere às descontinuidades superficiais que se localizam na margem do reforço da solda. Elas são críticas mesmo em pequenas dimensões, pois podem se propagar, na direção do comprimento, induzidas por um campo de tensão que se concentra nessa região. Essas descontinuidades devem, preferencialmente, ser removidas por esmerilhamento.

As descontinuidades localizadas no metal base distantes de descontinuidades geométricas ou de cordões de solda devem ser tratadas da mesma forma que aquelas localizadas no cordão de solda com TTAT (figura 6.3).

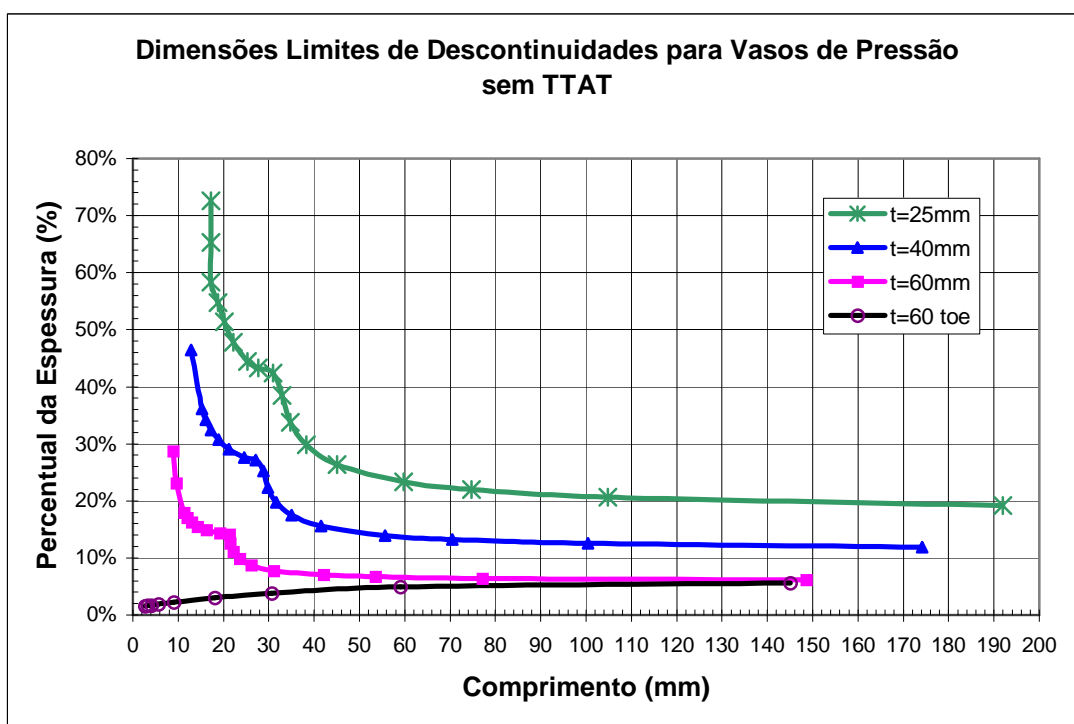
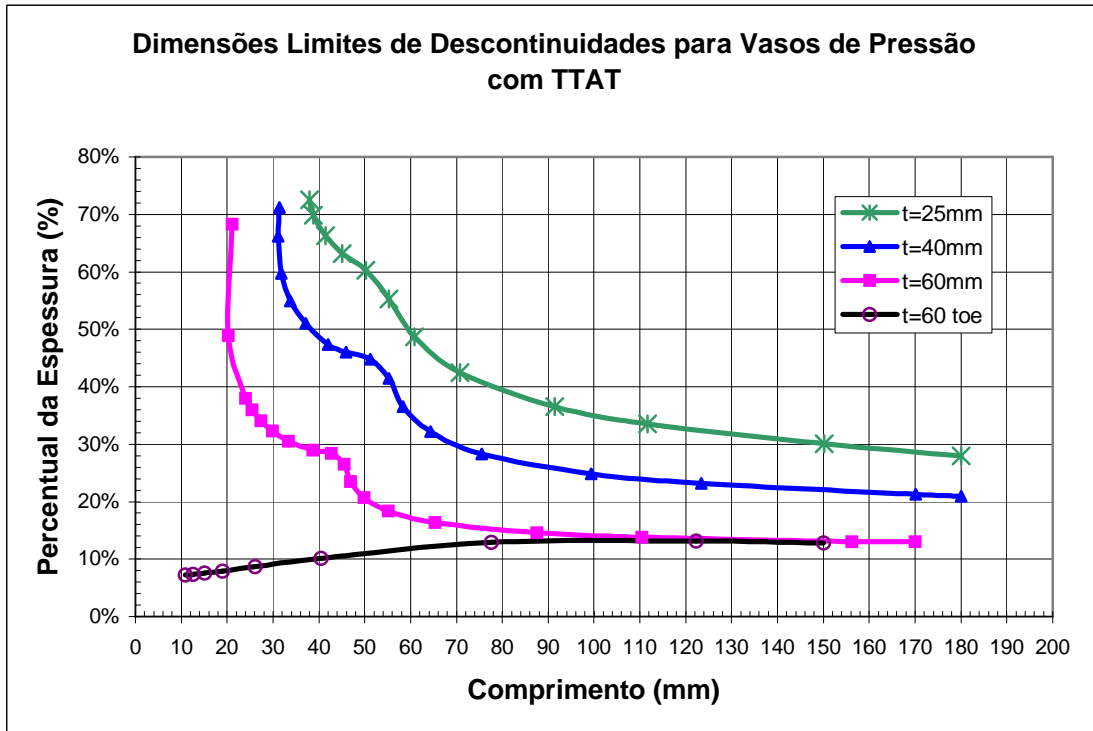


Fig. 6.2 – Limites de descontinuidade para  $t \leq 60$  mm – Vasos de Pressão sem TTAT (Resultados válidos para trincas superficiais e subsuperficiais)





**Fig. 6.3 – Limites de descontinuidade para  $t \leq 60$  mm – Vasos de Pressão com TTAT (Resultados válidos para trincas superficiais e subsuperficiais)**

## PROCEDIMENTO 2 – DESCONTINUIDADES NA SOLDA DO BOCAL COM O CASCO

### 6.3. CASOS COBERTOS POR ESTE ITEM

Os resultados apresentados neste item devem ser usados apenas para descontinuidades planares, localizadas na solda de ligação entre bocais e costado de equipamentos esféricos e cilíndricos e entre bocais e tampos toroesféricos, elipsoidais e hemisféricos. Os bocais podem ser sem reforço ou com reforço do tipo integral ou com reforço de chapa sobreposta.

São mostrados na figura 7.1 os modelos possíveis, diferindo apenas na presença ou não do reforço do bocal. Observe que as descontinuidades são consideradas como tendo comprimento se estendendo em toda a volta do bocal. Assim sendo, os resultados se referem apenas ao risco de propagação ao longo da espessura, que é mais crítico no que se refere à ocorrência de vazamento.

Os parâmetros geométricos indicados na figura 7.1 são:

$R_c$ : raio interno do casco

$R_b$ : raio interno do bocal

$L_{cr}$ : largura do reforço

$t_c$ : espessura do casco

$t_c^{\wedge}$ : espessura total do reforço

$t_b$ : espessura do bocal

$h$ : altura da descontinuidade

$\beta$ : razão entre  $t_c^{\wedge}$  e  $t_c$  para bocais com reforço

No caso de bocais com reforço, os parâmetros  $L_{cr}$  e  $t_c^{\wedge}$  são iguais, respectivamente, a  $R_b$  e  $\beta.t_c$ . Adota-se para o fator  $\beta$  valores iguais a 1.3, 1.6 e 1.9, correspondendo a três classes de reforço e  $\beta = 1$  para bocais sem reforço. Utilizar para avaliação sempre o valor  $\beta$  menor ou igual ao valor de projeto.

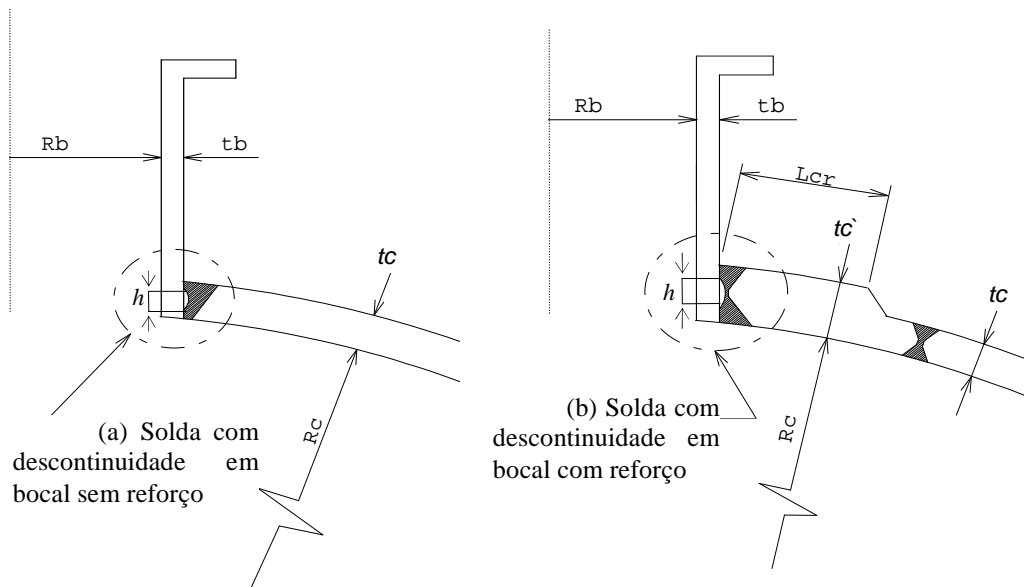


Figura 7.1 - Detalhe da região com descontinuidade para bocal radial com ou sem reforço

#### 6.4. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

As seguintes hipóteses foram adotadas para viabilizar a padronização das soluções apresentadas nas figuras 7.2, 7.3 e 7.4:

- i) Ausência de gradientes térmicos operacionais entre o bocal e o vaso de pressão;
- ii) Inexistência de esforços externos relevantes no bocal provenientes da tubulação conectada;
- iii) Tensão residual de soldagem igual à tensão de escoamento do material a frio ( $\sigma_e$ ) quando sem TTAT ou igual a 30% deste valor quando com TTAT;
- iv) Ausência de corrosão sob tensão e de dano por hidrogênio;
- v) Material do pescoço do bocal ou do casco do equipamento igual ou equivalente ao ASTM A 516 Gr 70, com as seguintes propriedades mecânicas:  $\sigma_e = 262$  MPa e  $E$  (módulo de elasticidade) = 210 GPa
- vi) Material da região de solda com as seguintes propriedades mecânicas:  $\sigma_e = 300$  MPa,  $\sigma_r$  (tensão de ruptura até 300°C) = 600 MPa;
- vii) Pressão interna ( $P_i$ ) que proporciona uma tensão de membrana no casco igual à máxima admissível ( $\sigma_a$ ) do código de projeto ASME:  $P_i = \frac{2 \cdot \sigma_a \cdot t_c}{R_c}$ ;
- viii) Trinca planar interna, vertical, centrada ou mais próxima à superfície interna do casco, na solda entre casco e pescoço do bocal e se estendendo em toda a volta do bocal (360°);
- ix) Espessuras do costado ou do reforço ( $t_c$  ou  $t_c'$ ) menores ou iguais a 110 mm;

## 6.5. TAMANHO MÁXIMO ADMISSÍVEL DE DESCONTINUIDADE EM BOCAL DE ESFERA DE GLP

As esferas de GLP com trincas em conexões reforçadas pela parede do bocal ou pelo casco são tratadas neste item, considerando as seguintes premissas:

- Equipamento projetado segundo o código ASME Sec VIII Div 2;
- Condição de emergência, ou seja, vazamento de GLP pelo bocal, proporcionando temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$ ;
- Material do casco ASTM A 516 Gr 70 com espessura máxima de 110 mm;
- Valor “lower bound” de tenacidade à fratura  $K_{IC} = 40 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ;
- Esfera tratada termicamente (TTAT) resultando numa tensão residual de soldagem da ordem de 30% da tensão de escoamento do material, ou seja, 81 MPa;
- Tensão admissível do material igual a 176 MPa

Na fig. 7.2 são apresentados os resultados relativos à condição limite de resistência à fratura do BS-7910 - nível 1 ( $Kr = 0.7$ ), considerando a geometria mais desfavorável e a tenacidade citada acima.

A máxima altura admissível ( $h$ ) de descontinuidade centrada ou próxima à superfície interna do costado pode ser obtida, conservativamente, a partir da fig. 7.2, bastando entrar no eixo da ordenada com o valor da espessura do casco ( $tc$ ) ou da espessura total na região do reforço ( $tc'$ ) para se obter na abcissa o valor limite de descontinuidade igual a  $h/tc$  ou  $h/tc'$ .

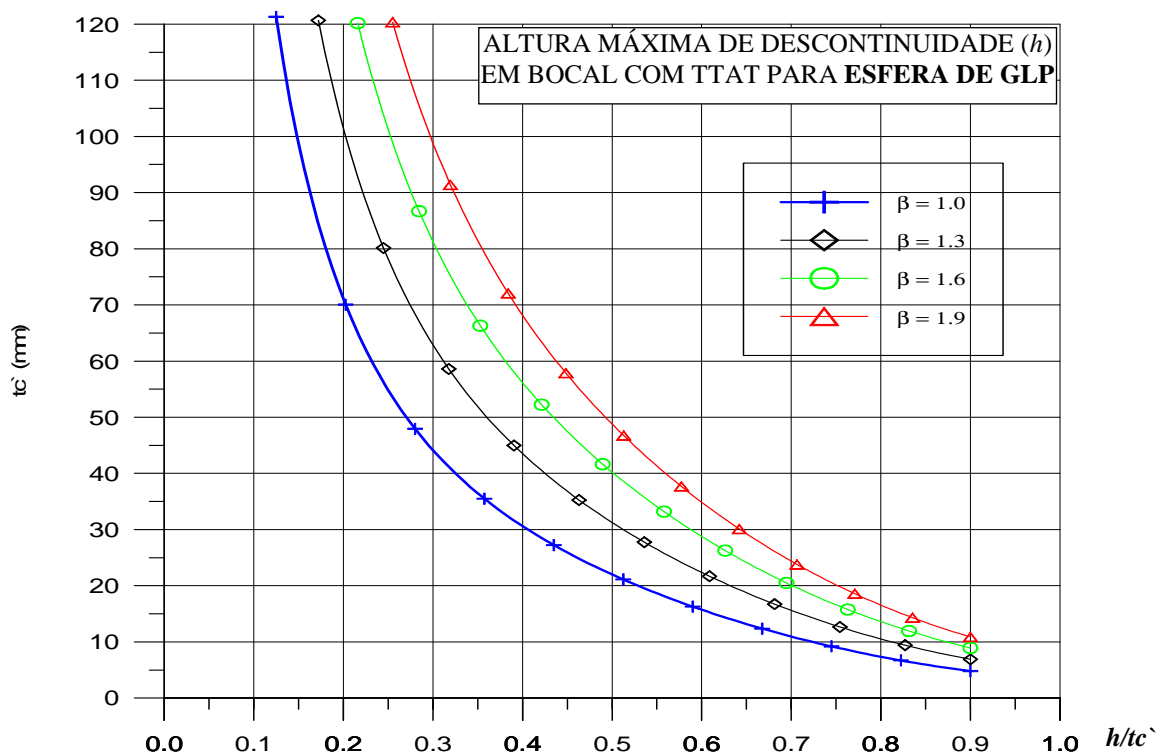


Figura 7.2: Altura máxima admissível de descontinuidade ( $h$ ) para bocal com TTAT

## 6.6. TAMANHO MÁXIMO ADMISSÍVEL DE DESCONTINUIDADE EM BOCAL DE VASOS DE PRESSÃO PROJETADOS SEGUNDO O ASME VIII DIV1

Os vasos de pressão com trincas em bocais são tratados neste item, considerando as seguintes premissas:

- Equipamento projetado segundo o código ASME Sec VIII Div 1;
- Temperatura mínima de projeto igual a 0°C;
- Material do casco ASTM A 516 Gr 70 ou de menor resistência, com espessura máxima de 110 mm;
- Valor de tenacidade à fratura  $K_{IC} = 80 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ , correspondendo a um valor de CTOD da ordem de 0,05 mm;
- Tensão de escoamento do material igual a 270 MPa;
- Tensão admissível do material igual a 130 MPa.

Nas fig. 7.3 e 7.4 são apresentados resultados, respectivamente, para descontinuidades em bocal sem TTAT e com TTAT. A máxima altura admissível de descontinuidade centrada ou próxima à superfície interna do vaso pode ser obtida, conservativamente, a partir dessas figuras, bastando entrar no eixo da ordenada com o valor da espessura do casco ( $t_c$ ) ou da espessura total na região do reforço ( $t_c'$ ) para se obter na abcissa o valor limite de  $h/t_c$  ou  $h/t_c'$ .

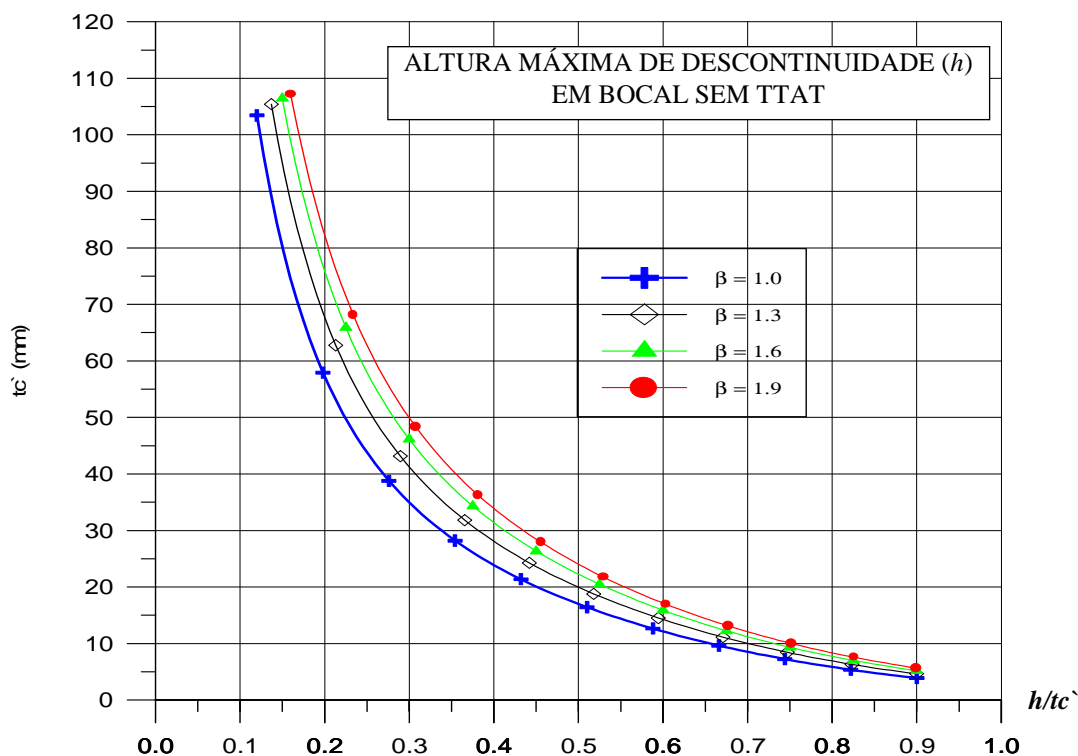


Figura 7.3: Altura máxima de descontinuidade ( $h$ ) para bocal sem TTAT

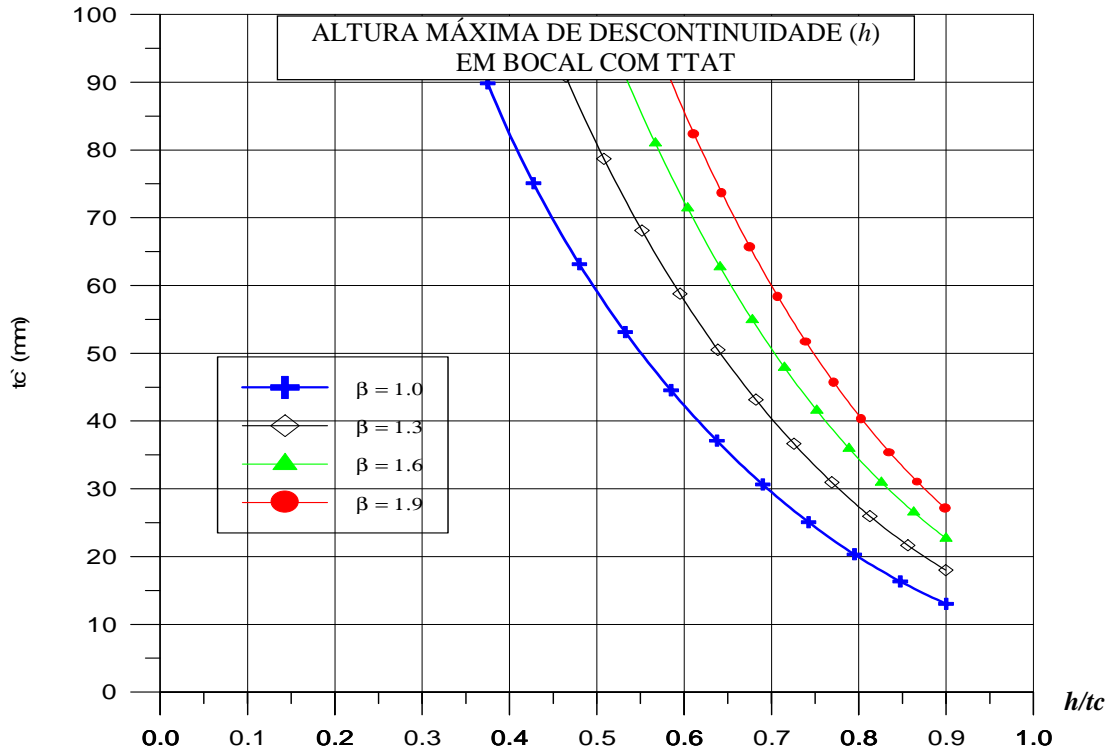


Figura 7.4: Altura máxima de descontinuidade (h) para bocal com TTAT

## 7. “LOWER BOUND” DA TENACIDADE À FRATURA

Quando a tenacidade à fratura não é conhecida, pode-se adotar o procedimento do API RP 579 (apêndice F), que é baseado na temperatura de referência do material do equipamento a ser avaliado. Este procedimento fornece valores conservativos para estimativa dessa propriedade para materiais ferríticos.

A equação empregada para essa estimativa é dada por:

$$K_{IC} = 33,2 + 2,806(e)^{[0,02.(T - T_{ref} + 100)]} \quad (\text{ksi.in}^{1/2}; ^\circ\text{F}) \quad \text{ou}$$

$$K_{IC} = 36,5 + 3,084(e)^{[0,036.(T - T_{ref} + 56)]} \quad (\text{MPa.m}^{1/2}; ^\circ\text{C})$$

Onde:  $K_{IC}$  - tenacidade à fratura do material na temperatura de análise (T);

$T_{ref}$  - temperatura de referência do material;

e - algarismo *neperiano*, igual a 2.718282.

A temperatura de análise (T) depende da condição de projeto. Na maioria dos casos essa temperatura é especificada em projeto, devendo ser adotado o valor mínimo indicado nesses documentos.

Se essa temperatura não estiver especificada, utilizar a regra definida na norma N-1281, conforme abaixo:

i) temperatura mínima de projeto para as regiões próximas dos bocais (\*):

Menor entre os seguintes valores:

- temperatura de vaporização do fluido contido na pressão atmosférica;
- zero °C;

ii) temperatura mínima de projeto para regiões do costado afastadas dos bocais (\*):

Menor entre os seguintes valores:

- temperatura de vaporização do fluido contido na pressão atmosférica, acrescida de 30°C;
- zero °C.

Para obtenção da temperatura de referência ( $T_{ref}$ ), deve-se enquadrar o material do equipamento em uma das curvas da Fig. UCS-66 do código ASME Section VIII - Div.1 ou Fig. AM-218.1 da Div.2, conforme procedimentos do API-RP 920 (usar tabela 8.1 e figura 8.1 abaixo). No caso de dúvidas em relação ao enquadramento do material, utilizar a Curva A que acarreta menores valores de tenacidade para a análise.

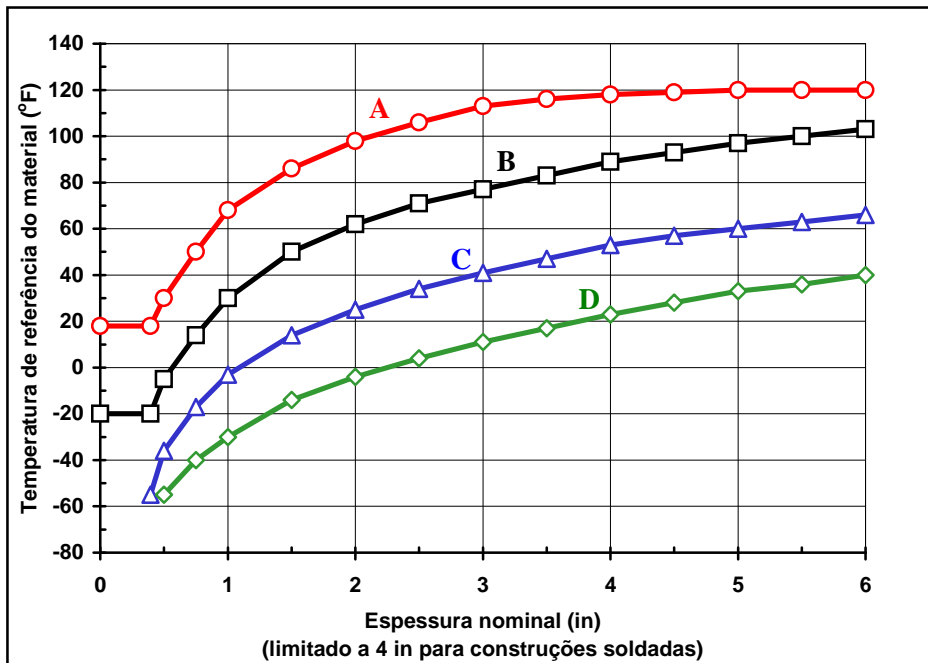


Figura 8.1 – Curvas para obtenção da temperatura de referência (Cópia da figura UCS-66 do ASME)

No caso de ser necessário um maior nível de conservadorismo na análise, considerar a temperatura de referência de 100°F (= 38°C). Em nenhum caso considerar uma tenacidade superior a 100 Ksi.in<sup>1/2</sup> (110 MPa.m<sup>1/2</sup>).

Tabela 8.1 – Tabela para caracterizar a curva do material (A, B, C e D) a partir da sua especificação

Curva	Material
A	1. Todos as chapas, barras e perfis estruturais de aço carbono e de aço liga não listados nas curvas B, C e D abaixo. 2. SA-216 Gr WCB e WCC se normalizado e revenido ou se temperado e revenido; SA-217 Gr WC6 se normalizado e revenido ou se temperado e revenido

B	<p>SA-216 Gr WCA, se normalizado (ou temperado) e revenido  SA-216 Gr WCB e WCC &lt; 2in, se produzido com grão fino e temperado e revenido  SA-217 Gr WC9, se normalizado e revenido.  SA-285 Gr A e B  SA-515 Gr 60  SA-516 Gr 65 e 70, se não normalizado  SA-612, se não normalizado.  SA-662 Gr B, se não normalizado.</p> <p>Exceto para aços fundidos, todos os materiais da curva A, se produzidos com grão fino e normalizado, não cobertos pelas curvas C e D abaixo;</p> <p>Todos os tubos, acessórios de tubulação e forjados, não cobertos pelas curvas C e D abaixo;</p> <p>Partes permitidas da UG-11 devem pertencer à curva B mesmo se fabricadas de chapas ou materiais pertencentes à outra curva.</p>
C	<p>SA-182 Gr 21 e 22, se normalizado e revenido.  SA-302 Gr C e D  SA-336 Gr F21 e F22, se normalizado e revenido.  SA-387 Gr 21 e 22, se normalizado e revenido.  SA-516 Gr 55 e 60, se não normalizado.  SA-533 Gr B e C  SA-662 Gr A</p> <p>Todos os materiais da curva B se produzido com grão fino e normalizado, e não listados na curva D abaixo.</p>
D	<p>SA-203  SA-508 classe 1  SA-516 se normalizado  SA-524 classes 1 e 2  SA-537 classes 1, 2 e 3  SA-612 se normalizado  SA-662 se normalizado  SA-738 Gr A  SA-738 Gr A com Cb e V de acordo com o especificado, <math>\geq -20^{\circ} F</math>  SA-738 Gr B, <math>\geq -20^{\circ} F</math></p>

Notas:

a) Quando não explicitados, todos os graus ou classes devem ser considerados.

b) As seguintes notas se aplicam a todos os materiais:

i) Taxas de resfriamento maiores que as obtidas ao ar, seguido de revenimento, como permitido pelo material especificado, são consideradas serem equivalentes ao tratamento térmico normalizado ou normalizado e revenido.

ii) Prática de grão fino é definido como sendo o procedimento necessário para se obter um tamanho de grão fino austenítico, conforme descrito no SA-20.