

## Avaliação da Soldabilidade dos Aços AISI 444

T. M. Maciel<sup>1\*</sup>, M. A. Santos<sup>1</sup>, M. Mesquita<sup>1</sup>, F. A. S. Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande- Av. Aprígio Veloso, 882, Campina Grande, Paraíba, CEP-58103.

(Recebido em 10/05/2006; revisado em 22/05/2006; aceito em 02/06/2006)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

---

### Resumo:

Neste trabalho estudou-se a soldabilidade dos aços AISI 444 para serem utilizados como “lining” em torres de destilação de petróleo. Para isto corpos de prova deste aço soldados por processo de Soldagem ao Arco Elétrico com Eletrodo Revestido (SAER) utilizando-se o eletrodo AWS E 309 MoL como metal de adição, foram submetidos a ensaios de envelhecimento por tempos de 1h, 10 e 100h a uma temperatura de 400 °C e em seguida avaliada a dureza e a microestrutura do Metal de Solda e da Zona Térmicamente Afetada (ZTA) e a granulometria e a extensão da ZTA das juntas soldadas. Observou-se também o comportamento das juntas soldadas destes aços em testes de fadiga térmica, submetendo os corpos de prova a ciclos térmicos com temperatura de patamar de 400° C (673K) durante 30, 60 e 90 minutos, simulando as reais condições de serviço nas torres de destilação, observando-se em seguida a presença de trincas através de ensaios por líquido penetrante. Os resultados indicaram ausência de trincas na ZTA, tanto nos testes de envelhecimento quanto naqueles de fadiga térmica, entretanto observou-se uma significativa sensibilidade deste aço com relação à extensão da ZTA e à sua granulometria em função da variação da energia de soldagem e uma relação direta do tempo de tratamento de envelhecimento e da energia de soldagem com a dureza do MS e da ZTA.

**Palavras-chave:** Aços AISI 444; juntas soldadas; granulometria; microdureza.

---

### Abstract:

In this work it was studied weldability of steel AISI 444 to be used as lining in towers of oil distillation. For this, hardness, microstructure, grain size and the Heat Affected Zone (HAZ) size of samples welded by Shielded Metal Arc Process using AWS E 309 MoL electrode as filler metal submitted to aging tests for 1, 10 and 100h at 400 °C were measured. The samples also were submitted to fatigue test at that temperature for 30, 60 and 120 min and submitted to tests to identify cracks. The results showed no cracks evidence at the welded joints for both test, however, the steel presented a considerable grow size at the HAZ with the Heat Input increase and a little hardness increase with the time in the aging tests.

**Keywords:** AISI 444 Steel; welded joints; grain size; microhardness.

---

---

\* E-mail do autor: [theo@dema.ufcg.edu.br](mailto:theo@dema.ufcg.edu.br) (T. M. Maciel)

## 1. Introdução

O petróleo, devido a sua composição química e a presença de diversas impurezas tais como: compostos orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados, organometálicos, água, sais minerais e areia, apresentam um elevado grau de corrosividade.

Este aspecto exige dos diversos materiais, empregados nas unidades de destilação e de processamento do petróleo, uma elevada resistência à corrosão, em especial à corrosão causada pelos ácidos naftênicos.

As torres de destilação de petróleo são normalmente fabricadas com chapas de aço ASTM A-516 Gr. 60 com “clad” de aço AISI 405. Os elevados teores de enxofre presentes nos óleos de mais baixa qualidade atacam, por corrosão naftênica, o “clad” de aço inoxidável AISI 405, expondo o aço estrutural ao contato com o meio agressivo, acelerando o processo de degradação da torre. Este processo de degradação da torre exige uma intervenção para que seja recuperada. Esta recuperação ocasiona uma perda de produtividade da unidade que pode ser de algumas horas, a dias, dependendo do tamanho do problema.

Atualmente, as torres são recuperadas pela aplicação de “lining” (chapas) de aços inoxidáveis AISI 316-L soldadas entre si. Embora o uso do aço AISI 316-L garanta uma boa resistência à corrosão naftênica, surgem trincas na zona afetada termicamente (ZTA) da solda após um determinado período de operação da unidade. Essas trincas podem estar associadas a problemas metalúrgicos na ZTA da solda e, principalmente, aos esforços causados pela dilatação e contração do conjunto (“lining” e parede da torre) em virtude da variação de temperatura de trabalho da torre, associados aos efeitos da camada de gás retida entre o “lining” e a parede da torre.

A utilização de aços inoxidáveis ferríticos em substituição aços austeníticos para esta aplicação, pode

se constituir em uma alternativa viável devido ao menor coeficiente de dilatação térmica daqueles aços com relação aos austeníticos, além de reduzir os custos da operação (Lancaster, J.F., 1980). Entretanto, a ZTA de juntas soldadas dos aços ferríticos, podem apresentar uma significativa perda de tenacidade devido ao excessivo crescimento do grão nesta região ou aumento de dureza por precipitação de carbonetos ou de fase  $\sigma$  após permanência em elevadas temperaturas (Modenesi, P., 2001; Lancaster, J.F., 1980; Kou, S., 1987)

Na tentativa de melhorar a resistência à corrosão e a soldabilidade, novos aços inoxidáveis ferríticos vêm sendo desenvolvidos, entre eles o aço AISI 444 com menores teores de intersticiais, estabilizados com Nb e Ti e com um maior teor de Mo (Modenesi, P., 2001).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a soldabilidade do aço AISI 444 como uma alternativa para a substituição dos aços AISI 316 L atualmente utilizados como “Lining” nas torres de destilação de petróleo.

## 2. Materiais e métodos

O processo de soldagem utilizado foi ao Arco Elétrico com Eletrodo Revestido (SAER) por ser este o processo utilizado atualmente na recuperação das torres

Os metais de base utilizados foram chapas de aços inoxidáveis AISI 444 com a mesma espessura dos “linings”, ou seja, 3mm e chapas de aço carbono 1020 com 20 mm de espessura para simular as chapas de aço da estrutura das torres, sobre as quais foram executadas as soldagens.

Na tentativa de evitar fragilização do metal de solda foram utilizados eletrodos austeníticos AWS E 309 MoL com 2,5 mm de diâmetro, como metal de adição.

As composições químicas do metal de base e do metal de adição estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável AISI 444-A (% em peso)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Co	V	Nb	Ti	N
0,015	0,12	0,54	0,02	0,001	17,6	0,2	1,86	0,01	0,03	0,017	0,04	0,16	0,13	0,01

Para se obter os valores das correntes e tensões de soldagem, utilizou-se um sistema de aquisição de dados informatizado que forneciam os valores destas variáveis a cada meio segundo no computador para cada soldagem executada.

As soldagens dos corpos de prova foram executadas com 4 passes corridos laterais e 3 passes de cobertura trançados, seguindo o mesmo procedimento utilizado nas torres. A Figura 1 ilustra o esquema dos passes de soldagem realizados no procedimento de soldagem e a Figura 2 a fotografia do conjunto soldado.

Tabela 2. Composição química nominal do eletrodo AWS E 309-MoL

<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>Cu</i>
0,03	1,18	0,48	0,024	0,005	23,88	12,77	2,53	0,10

Fonte: NST Welding UK Ltda

Foram realizadas soldagens com correntes variando de 58 a 81 A. Os valores de corrente utilizados basearam-se nos valores indicados nos catálogos dos fabricantes dos consumíveis. Os cordões de base (corridos) foram soldados com energia de soldagem variando de  $0,58 \pm 0,046$  a  $0,68 \pm 0,063$  KJ/mm, enquanto

por Líquido Penetrante e posteriormente análises metalográfica para avaliação do tamanho de grão e extensão da ZTA e ensaios de microdureza ao longo da junta para a avaliação da possibilidade de endurecimento do metal de solda e da ZTA por formação de fases fragilizantes ou reprecipitação de carbonetos.

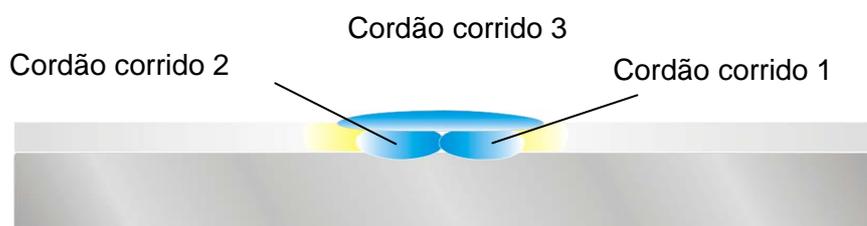


Figura 1. Ilustração dos passes de soldagem realizados no procedimento de soldagem.



Figura 2. Fotografia do corpo de prova

Como as torres de destilação operam em uma faixa de temperatura que varia entre 400 e 300 °C, os corpos de prova foram submetidos 10 ciclos de aquecimento até uma temperatura de 400 ° permanecendo por 30, 60 e 90 min nesta temperatura, resfriados dentro do forno até 300 °C e a partir desta temperatura retirados para resfriamento ao ar livre. Após este ensaios de fadiga térmica os corpos de prova foram submetidos a ensaios por Líquidos Penetrantes para verificação da presença de trincas.

Os ensaios metalográficos foram realizados através de microscopia óptica. O ataque químico foi realizado por molhamento utilizando como reagente Água Régia



Figura 3. Disposição das duas linhas de indentações no metal de base (MB), na Zona Termicamente Afetada (ZTA) e no Metal de Solda (MS).

que os cordões de cobertura (trançados) foram soldados com as energias variando de  $0,95 \pm 0,046$  a  $1,03 \pm 0,130$  KJ/mm.

Após as soldagens as chapas foram submetidas a testes de envelhecimento submetendo os corpos de prova a aquecimentos em forno elétrico a uma temperatura de 400 °C durante 1, 10 e 100 h, avaliando-se em seguida a presença de trincas nas juntas soldadas através de ensaios

Fluorada. O tempo de ataque utilizado foi de 4 a 5 minutos.

A captura das imagens e medida do tamanho de grão foram realizadas através de um programa de cálculo do tamanho do grão (TG) do Analisador de Imagem em que foram calculados os diâmetros dos grãos para as amostras analisadas. Com o TG obtido utilizou-se a uma tabela específica para converter o TG em diâmetro médio

do grão em mm. Foram feitas 3 leituras de TG com o objetivo de minimizar o erro na determinação do diâmetro médio do grão.

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados com uma carga de 300 gf e tempo de penetração de 15 segundos. As medidas foram realizadas em 2 (duas) linhas horizontais ao longo da extensão de toda junta soldada, obedecendo a uma distância entre as indentações de 0,25 mm para ZTA, e de 1,0 mm para o MS totalizando 20 medidas no metal de solda e 10 na ZTA de grãos grosseiros. A Figura 3 ilustra a disposição

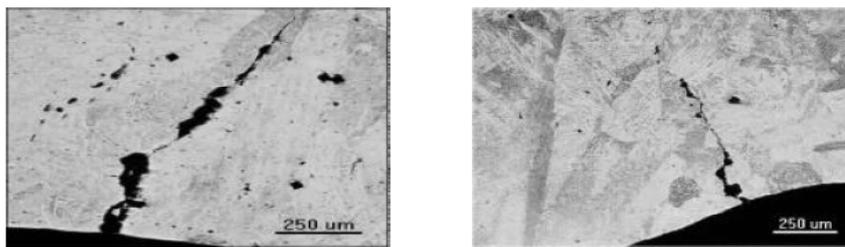


Figura 4. Aspectos das trincas nos metais de solda. Aumento de 50X.

das duas linhas de indentações passando desde o metal de base (MB), pela Zona Termicamente Afetada (ZTA) e pelo Metal de Solda (MS).

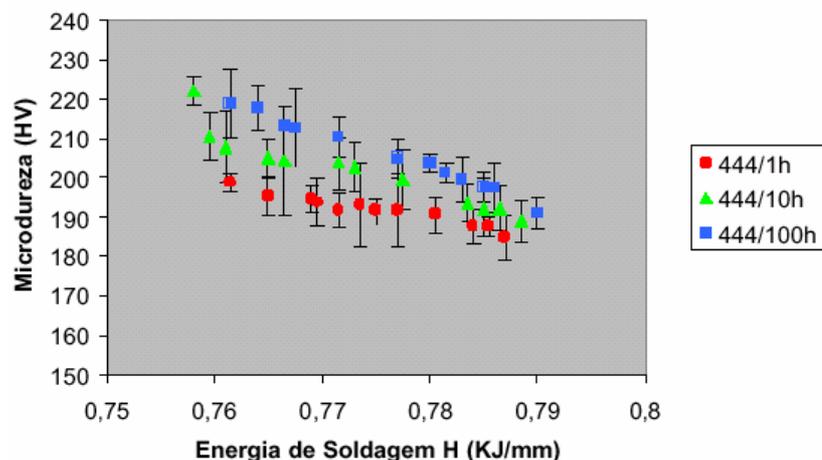
Após as soldagens as chapas foram submetidas a testes de envelhecimento submetendo os corpos de prova a aquecimentos em forno elétrico a uma temperatura de 400 °C durante 1, 10 e 100 h, avaliando-se em seguida a presença de trincas nas juntas soldadas através de ensaios por Líquido Penetrante e posteriormente análises metalográfica para avaliação do tamanho de grão e extensão da ZTA e ensaios de microdureza ao longo da junta para a avaliação da possibilidade de endurecimento do metal de solda e da ZTA por formação de fases

Como as torres de destilação operam em uma faixa de temperatura que varia entre 400 e 300 °C, os corpos de prova foram submetidos 10 ciclos de aquecimento até uma temperatura de 400 ° permanecendo por 30, 60 e 90 min nesta temperatura, resfriados dentro do forno até 300 °C e a partir desta temperatura retirados para resfriamento ao ar livre. Após este ensaios de fadiga térmica os corpos de prova forma submetidos a ensaios por Líquidos Penetrantes para verificação da presença de trincas.

Os ensaios metalográficos foram realizados através

de microscopia óptica. O ataque químico foi realizado por molhamento utilizando como reagente Água Régia Fluorada. O tempo de ataque utilizado foi de 4 a 5 minutos.

A captura das imagens e medida do tamanho de grão foram realizadas através de um programa de cálculo do tamanho do grão (TG) do Analisador de Imagem em que foram calculados os diâmetros dos grãos para as amostras analisadas. Com o TG obtido utilizou-se a uma tabela específica para converter o TG em diâmetro médio do grão em mm. Foram feitas 3 leituras de TG com o objetivo de minimizar o erro na determinação do diâmetro médio do grão.



fragilizantes ou reprecipitação de carbonetos.

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados com uma carga de 300 gf e tempo de penetração de 15

Figura 5. Efeito da energia de soldagem (H) e do tratamento térmico sobre a dureza da ZTA

segundos. As medidas foram realizadas em 2 (duas) linhas horizontais ao longo da extensão de toda junta soldada, obedecendo a uma distância entre as indentações de 0,25 mm para ZTA, e de 1,0 mm para o MS totalizando 20 medidas no metal de solda e 10 na ZTA de grãos grosseiros. A Figura 3 ilustra a disposição das duas linhas de indentações passando desde o metal de base (MB), pela Zona Termicamente Afetada (ZTA) e pelo Metal de Solda (MS). As medidas da ZTA correspondem à média destas medidas na região de grãos grosseiros.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Verificação da presença de trincas na junta soldada

O ensaio por líquido penetrante não identificou a presença de trincas na ZTA para nenhuma das condições utilizadas. Entretanto foram observadas trincas no metal de solda de dois corpos de prova. Pelas características das mesmas se constituem em trincas de solidificação, conforme pode ser observado através da Figura 4. Entretanto, não foi observada influência do valor da energia de soldagem sobre as mesmas, já que estas surgiram com valores intermediários desta variável. Ambas as trincas ocorreram nos metais de solda dos passes corridos, na parte inferior do cordão que sofre maior efeito da restrição à dilatação.

#### 3.2. Efeito do tempo de tratamento

A Tabela 3 e a Figura 5 apresentam os valores de

Tabela 3. Valores de microdureza da ZTA (em HV) em função do tempo de permanência a 400 °C (1, 10 e 100h) e da energia de soldagem (H).

<i>H</i> (KJ/mm)	<i>Desvio</i>	<i>1h</i>	<i>10h</i>	<i>100h</i>
0,788	0,001500	184,92	188,96	190,99
0,785	0,000577	187,62	192,20	197,66
0,784	0,002646	187,58	192,16	197,44
0,782	0,001607	190,64	193,50	199,42
0,780	0,005058	191,59	199,51	201,12
0,777	0,003512	191,56	202,54	203,64
0,774	0,002784	192,93	203,81	204,83
0,770	0,002887	191,60	204,28	201,24
0,767	0,002255	193,70	204,96	212,55
0,766	0,004093	194,35	207,83	213,03
0,763	0,002930	195,18	210,41	217,69
0,760	0,002021	198,78	222,05	218,76

microdureza da ZTA em função da energia de soldagem (H) e do tempo de permanência na temperatura de 400 °C. Os valores de energia de soldagem (H) neste caso correspondem à média das energias dos cordões corridos e trançados.

Analizando-se o Gráfico da Figura 5 percebe-se que os valores da microdureza da ZTA aumentaram com a redução da energia de soldagem e com o aumento do tempo de permanência a 400 °C, apesar do aumento máximo ser de apenas 33 HV. O aumento da dureza com a redução da energia de soldagem poderia ser atribuído a uma maior formação de pequenas proporções de martensita nos contornos de grão, devido ao aumento da taxa de resfriamento na junta (Kou, S., 1987). Entretanto, não foi identificado nenhum vestígio de rede de martensita nesta região, conforme pode ser observado na Figura 6. O aumento da dureza em função do aumento do tempo de tratamento poderia ser atribuído a uma maior reprecipitação de carbonetos ou nitretos de Cr, Ti e/ou Nb ou de fases de dimensões mais reduzidas. Entretanto, tendo em vista o pequeno aumento dos valores de dureza, não foi possível identificar mudanças significativas na quantidade e tamanho dos precipitados,

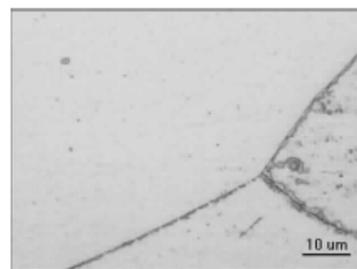


Figura 6. Contorno de grão na região da ZTA. Aumento 1000X.

conforme pode ser observado na Figura 7 que apresenta as microestruturas na ZTA para as condições de diferentes valores de dureza. Apesar destes acréscimos nos valores da dureza serem relativamente pequenos o seu nível de nocividade em termos de perda de tenacidade da ZTA só poderá ser confirmada através de ensaios específicos para este fim, como os ensaios de impacto ou de tenacidade à fratura.

#### 3.3. Efeito no metal de solda

A Tabela 4 e a Figura 8 apresentam os valores de microdureza do Metal de Solda (MS) para tempos de permanência (t) de 1, 10 e 100h à temperatura de 400 °C. em função da energia de soldagem.

Analisando-se o Gráfico da Figura 8 percebe-se que os valores da microdureza no Metal de Solda (MS), da

se ter variações bastante significativas nos valores de dureza em função das diferentes morfologias e da

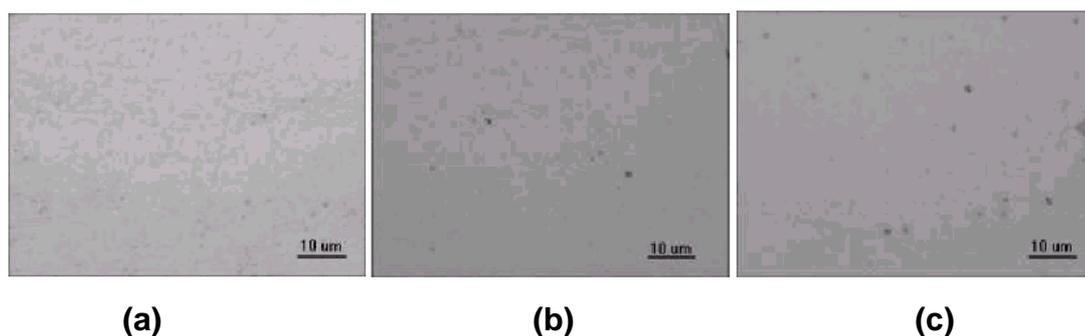


Figura 7. Microestruturas da ZTA na região de grãos grosseiros com diferentes tempos de exposição de 1h (a), 10h (b) e 100h (c) a 400 °C. Aumento 1000X.

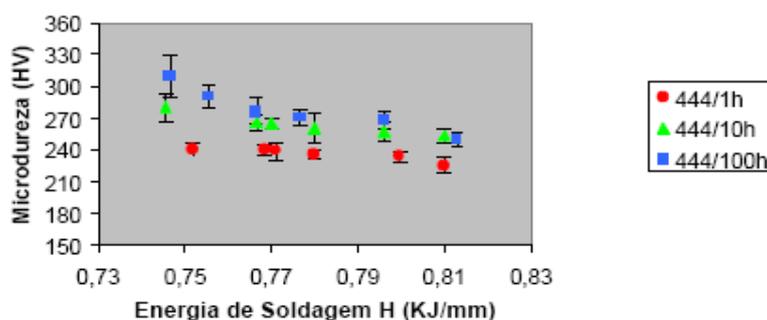


Figura 8. Efeito da energia de soldagem (H) e do tempo à 400 °C sobre a dureza do Metal de Solda.

mesma forma que para a ZTA aumentaram com a redução da energia de soldagem (H) e com o aumento do tempo de permanência (t). Entretanto pode-se observar que houve alterações um pouco mais significativas nos valores de dureza em função destas variáveis, atingindo-se acréscimos de até 69 HV. Tendo em vista tratar-se de metal de solda austenítico o aumento da taxa de resfriamento devido à pequena redução da energia de soldagem não deveria proporcionar alterações deste porte nos valores de dureza. Entretanto, devido à grande participação de grãos ferríticos nos metais de solda o efeito da variação desta morfologia pode ser significativo. Mesmo em um único metal de solda pode-

possibilidade de formação de martensita, principalmente nos metais de solda corridos obtidos com menor energia de soldagem (Wang Z, Xu, B and Ye, C., 1993; Missori, S & Koerber, C. 1997, Gonzáles, G et al., 1991). A Figura 9 (a) e 9(b) apresentam duas regiões diferentes de um mesmo metal de solda onde se pode verificar a significativa diferença nos valores de dureza em função da microestrutura. A Figura 9 (a) apresenta uma microestrutura acicular de aparência martensítica que proporcionou uma dureza 114 HV maior do que a da região correspondente à microestrutura da Figura 9 (b).

Tabela 4. Valores de microdureza do metal de solda (MS) em HV para tempos de 1, 10 e 100h à temperatura de 400 °C

H (KJ/mm)	Desvio	1h	10h	100h
0,811	0,001732	224,82	253,11	249,78
0,797	0,002117	233,60	257,31	267,86
0,779	0,001925	235,32	260,67	270,22
0,769	0,002269	239,08	265,04	275,86
0,764	0,007000	239,76	265,70	290,21
0,748	0,003405	240,33	280,06	309,56

Utilizando o diagrama de Schaeffer, devido à elevada participação do metal de base ferrítico na constituição do metal de solda (diluição em torno de 50 %), os metais de

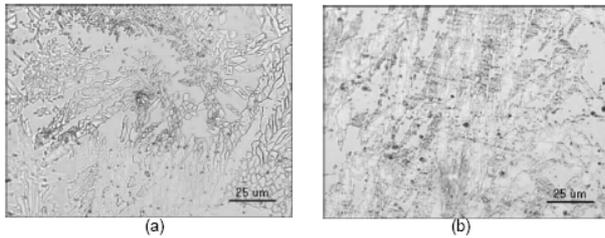


Figura 9. Microestruturas do Metal de Solda (MS). Aumento 500X.

solda se encontram na região constituída de um elevado percentual de ferrita (em torno de 80 %) com a possibilidade da presença de martensita, conforme pode ser observado através da Figura 10 (Missori, S & Koerber, C. 1997). Esta possibilidade torna-se maior devido à maior taxa de resfriamento proporcionado pelo menor valor da energia de soldagem nestes cordões, variável esta não considerada no diagrama.

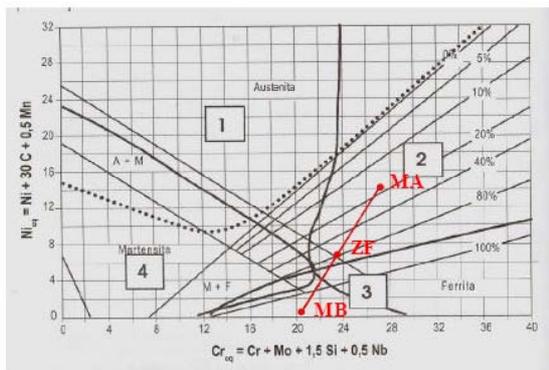


Figura 10. Diagrama de Schaeffer

Utilizando o diagrama de Schaeffer, devido à elevada participação do metal de base ferrítico na constituição do metal de solda (diluição em torno de 50 %), os metais de solda se encontram na região constituída de um elevado percentual de ferrita (em torno de 80 %) com a possibilidade da presença de martensita, conforme pode ser observado através da Figura 10 (Missori, S & Koerber, C. 1997). Esta possibilidade torna-se maior devido à maior taxa de resfriamento proporcionado pelo menor valor da energia de soldagem nestes cordões, variável esta não considerada no diagrama.

A probabilidade desta alteração na dureza vai influenciar na tenacidade do metal de solda, se tornando maior quando esta probabilidade é comparada com relação a ZTA, devido não só uma maior dureza média desta região quando comparada com a região da ZTA,

conforme observado na Figura 12, e a uma maior

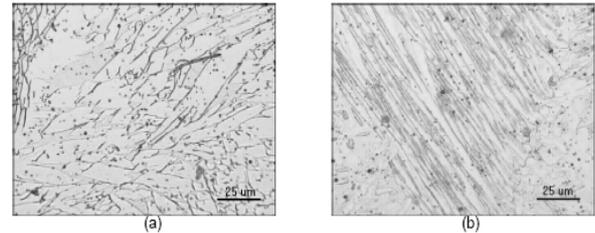


Figura 11. Região do Metal de solda (MS) tratado em 1h (a) e 100h (b). Aumento 500X.

elevação do seu valor com a alteração destas variáveis, como pela característica morfológica dos grãos na região fundida associada com a provável presença de heterogeneidades comuns a esta região como mordeduras, falta de fusão e inclusões de escória (Grong, 1994). Entretanto, assim como foi observado para a ZTA este grau de nocividade para a tenacidade devido ao aumento de dureza do metal de solda só poderá ser comprovado através de ensaios específicos para este fim.

### 3.4. Efeito da Energia de Soldagem sobre a Extensão e Granulometria da ZTA

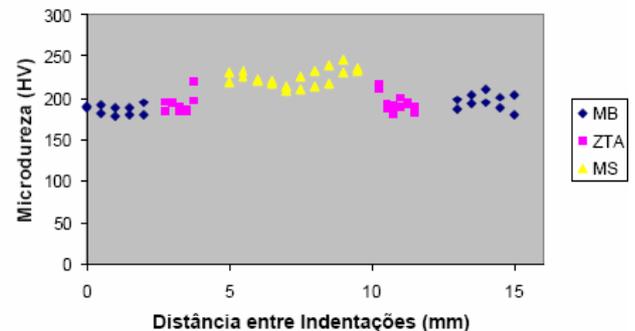


Figura 12. Distribuição dos valores de microdureza

A Tabela 5 e a Figura 13 apresentam a relação entre a extensão da ZTA de grãos grosseiros com os valores das energias de soldagem (H).

Analisando-se a Figura 13 observa-se um aumento significativo da ZTA com o aumento da energia de soldagem. Foram observados aumentos de até 3 mm para um acréscimo de apenas 0,2 kJ/mm na energia de soldagem. Este aumento na ZTA de grão grosso pode prejudicar sensivelmente a tenacidade da junta soldada. O ideal, portanto, seria reduzir ao máximo a energia de soldagem. Entretanto esta redução na energia de soldagem (H) não deve ser muito alta, pois como se

verificou anteriormente, pode conduzir a aumentos significativos de dureza nesta região.

Tabela 5. Valores das extensões da ZTA em função das energias de soldagem (H).

$L_{ZTA}$ (mm)	DESVIO- $L_{ZTA}$	H (KJ/(mm))	DESVIO-H
1,35	0,354	0,638	0,110
1,50	0,141	0,756	0,279
1,90	0,141	0,762	0,286
2,10	0,141	0,782	0,243
2,30	0,141	0,819	0,270
2,50	0,141	0,842	0,133
3,05	0,071	0,865	0,265
3,45	0,495	0,895	0,392
4,05	0,212	0,906	0,181
4,35	0,212	0,900	0,304

Com relação à influência da energia de soldagem

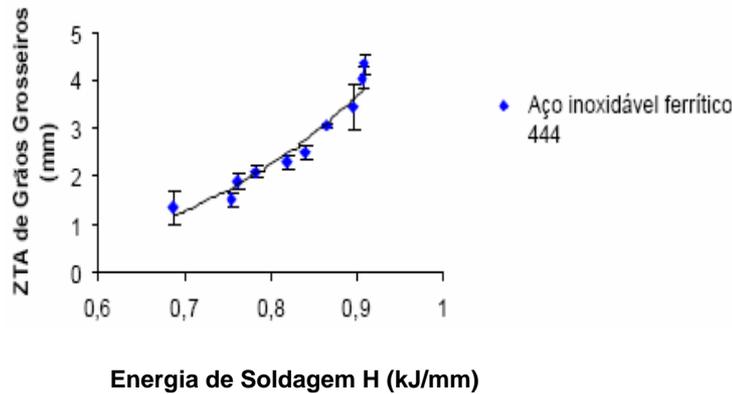


Figura 13. Relação entre a energia de soldagem (H) e a extensão da ZTA

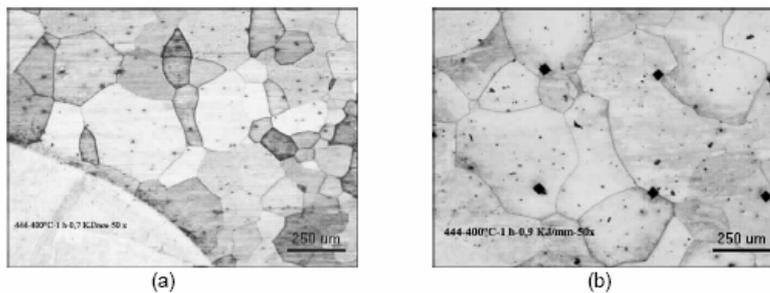


Figura 14. Região da ZTA para soldagens realizadas com 0,7 kJ/mm (a), com 0,9 kJ/mm (b). Aumento 50X.

sobre o tamanho do grão ferrítico na vizinhança da linha de fusão, para a amostra soldada com uma energia média na ZTA de 0,7 KJ/mm (Figura 14 (a)), o valor médio do tamanho de grão foi de 0,184 mm, enquanto para amostras soldadas com energia de soldagem (H) igual a 0,9 kJ/mm (Figura 14 (b)) este valor foi de 0,25 mm. Verificando-se assim um aumento de 0,06 mm no

diâmetro médio dos grãos da ZTA para um acréscimo de 0,2 kJ/mm na energia de soldagem, apesar da presença de Nb e Ti que atuam como estabilizadores do crescimento grão.

#### 4. Conclusões

Apesar de ter-se identificado trincas em alguns metais de solda não foi observada a presença destas na ZTA das juntas soldadas para todas as condições de soldagem tanto nos ensaios de envelhecimento como nos de fadiga térmica.

Os valores de dureza do metal de solda e da ZTA apresentaram um discreto aumento com a redução da energia de soldagem e com o aumento do tempo exposição à temperatura de 400 °C, principalmente o metal de solda que apresentou acréscimos de dureza de até 69 HV.

As microestruturas dos metais de solda apresentaram

uma variação significativa na morfologia e aparência dos grãos com reflexos significativos nos valores de dureza.

A extensão e granulometria da ZTA apresentaram uma significativa dependência da variação da energia de soldagem apesar da presença de elementos estabilizadores do crescimento de grão.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FINEP e ao CENPES – PETROBRÁS pelo aporte de recursos financeiros para a realização da pesquisa

## 5. Referências

- [1] Castner, H. R. What you should know about austenitic stainless steels. **Welding Journal**, v.72, p. 53-59, 1993.
- [2] Gonzales, G. S.; Cruz, R. S.; Campos A. J.; Barcellos, E. J. B. Y. A fabricação por soldagem, de bocais para componentes nucleares. **Revista Soldagem & Materiais**, v.3, p. 28-34, 1991.
- [3] Grong, O. **Metallurgical Modelling of Welding**. Cambridge: University Press, 1994.
- [4] Kou, S. **Welding Metallurgy**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987.
- [5] Lancaster, J. F. **Metallurgy of Welding**. London: George Allen & Unwin LTD, 1980.
- [6] Missori, S.; Koerber, C. Laser beam welding of austenitic-ferritic transition joints. **Welding Journal**, v.76, p. 125-134, 1997.
- [7] Modenesi, P. J. **Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis**. São Paulo: SENAI-SP, 2001.
- [8] Wang, Z.; Xu, B.; Ye, C. Study of the martensite structure at the weld interface and the
- [9] fracture toughness of dissimilar metal joints. **Welding Journal**, v.72, p. 397-402, 1993.