

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE POS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

ROGÉRIO DA SILVA CAROLINO

**ANÁLISE MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DAS JUNTAS
SOLDADAS MULTIPASSE DO AÇO A516 GRAU 70 PELOS
PROCESSOS ELETRODO REVESTIDO E ARAME TUBULAR
UTILIZADAS EM VASO DE PRESSÃO**

**VOLTA REDONDA
2013**

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE POS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**ANÁLISE MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DAS JUNTAS
SOLDADAS MULTIPASSE DO AÇO A516 GRAU 70 PELOS
PROCESSOS ELETRODO REVESTIDO E ARAME TUBULAR
UTILIZADAS EM VASO DE PRESSÃO**

Catálogo do produto apresentado ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais.

Aluno:

Rogério da Silva Carolino

Orientador: Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro

VOLTA REDONDA

2013

MOTIVAÇÃO

Apesar dos grandes progressos tecnológicos na área de soldagem nas industriais mecânicas ainda tem sido muito utilizado o processo de soldagem SMAW (eletrodo revestido) em vaso de pressão. O processo de soldagem SMAW (eletrodo revestido) tem baixa produtividade em comparação a outros processos de soldagem tais como os arames tubulares auto protegidos processo (FCAW), que tem grande produtividade e são largamente utilizados para fabricação de vários equipamentos, conforme (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2005; JOAQUIM, 2006). Porém, na produção de vaso de pressão seu uso é restrito, por não atenderem aos requisitos estabelecidos pelas normas de fabricação.

Pensando na otimização do processo de soldagem para construção de vaso de pressão, apresentamos neste catálogo o produto que é a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS OEJ-AC-AT08-1/2), ANEXO - A com a aplicação do arame tubular auto-protegido processo FCAW.

INTRODUÇÃO

O tema proposto vem de encontro da necessidade de otimização do processo produtivo das indústrias petrolífera e petroquímica devida grande demanda de produção de petróleo e seus derivados e conseqüentemente a necessidade de armazenamento de produtos aliada a confiabilidade e adequação dos custos devido a grande competitividade cada vez mais presente na engenharia de fabricação e na montagem de seus componentes.

Existem vários estudos relacionados com o tema proposto explorando a utilização do aço ASTM A516 grau 70, verificando sua soldabilidade através de outros processos de soldagem fazendo comparações que muito contribuem para o desenvolvimento.

Estudos anteriores (SUMAN, 2003), (JORGE *et al.*, 1990) e (JORGE *et al.*, 2001) têm demonstrado que, os metais de solda apresentam uma tendência para redução da tenacidade após Tratamento Térmico de Alívio de Tensão, e quando se trata de solda multipasse, aparecem limitações em suas aplicações, sendo objeto de análises mais detalhadas. O presente trabalho busca comparar as propriedades mecânicas e microestruturais causadas no material empregando estes processos, buscando o desenvolvimento de novas alternativas de soldagens que contribuam para otimização da fabricação de vasos de pressão.

PRODUTO

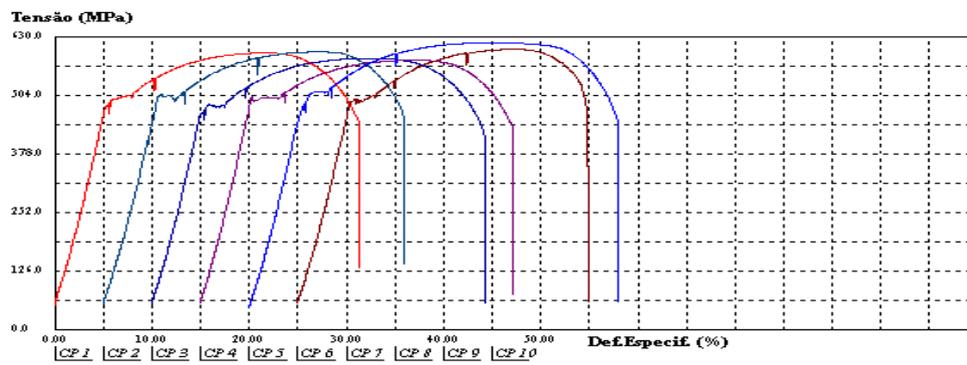
A soldagem com arame tubular apresenta as vantagens sobre outros processos, como alta taxa de deposição, grande rendimento que resulta em boa produtividade e qualidade da solda e também as vantagens da soldagem com eletrodo revestido, como alta versatilidade, possibilidade de alterar a composição química do cordão e facilidade para operar no campo. Além disso, a soldagem com arame tubular apresenta melhor estabilização do arco e cordão de melhor aspecto.

Apresentamos abaixo os resultados obtidos com a aplicação dos parâmetros de soldagem da EPS OEJ-AC-AT08-1/2. Conforme **ANEXO - I**

Tabela 1. Resultados dos ensaios de tração

Corpo de Prova	Compr. Base (mm)	Área (mm ²)	Tensão @Escoam. ES1 (MPa)	Tensão @Força Max. (MPa)	Def. Especif. @Ruptura (%)	Identificação CP
CP 1	50.0	65.12	482	595	31.3	AT-1
CP 2	50.0	65.39	505	598	31.0	AT-2
CP 3	50.0	64.13	465	584	34.2	AT-3
CP 4	50.0	63.73	495	580	32.2	ER-1
CP 5	50.0	62.65	481	617	37.9	ER-2
CP 6	50.0	64.76	489	603	29.9	ER-3
Número CPs	6	6	6	6	6	0
Média	50.00	64.30	486.0	595.9	32.74	*
Mediana	50.00	64.44	485.3	596.3	31.74	*
Desv. Padrão	0.0000	1.016	13.56	13.35	2.917	*
Coef. Var. (%)	0.0000	1.581	2.790	2.240	8.908	*
Mínimo	50.00	62.65	465.1	579.8	29.88	*
Máximo	50.00	65.39	504.6	616.5	37.90	*

Escoam. ES1 - ponto da curva correspondente ao escoamento convencional : **0.200 %**



IMPACTO

A tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de impacto Charpy-V para os metais de solda na condição Tratamento Térmicos Alívio de Tensão (TTAT)

Tabela 2. Resultados dos ensaios de Impacto Charpy-V (em Joules)

PROCESSO	ONDIÇÃO	T (°C)	1º ENSAIO	2º ENSAIO	3º ENSAIO	MÉDIA
	TTAT	0	65	87	83	78
ELETRODO REVESTIDO		-20	57	84	91	77
		-40	23	80	87	63
	TTAT	0	36	74	77	62
ARAME TUBULAR		-20	41	56	59	52
		-40	74	43	45	54
Mínimo exigido ASTM A 516 Grau 70	-	-	-	-	-	54
		-	-	-	-	

DUREZA

A Tabela 3 apresenta os perfis de dureza obtidos para as juntas soldadas na condição de TTAT, medidos a partir da superfície da chapa.

A Tabela 3 Perfil de Dureza

ARAME TUBULAR	TTAT	Metal Base	155,7	171,6	159,4	162
		ZTA	187,3	207,8	256	217
		Metal de Solda	155,3	185,2	164,9	168
		Raiz	174,4	193,8	192,2	187

MACROGRÁFIA

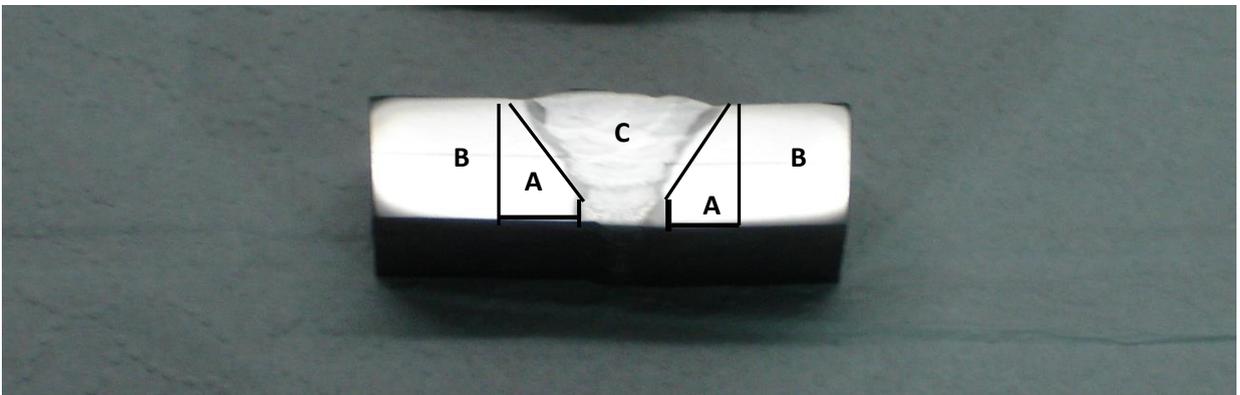
A Figura 4 apresenta a macrográfia da junta soldada pelo processo de arame tubular onde podemos verificar as regiões:

A - Zona Termicamente Afetada;

B - Metal de Base;

C - Metal de Solda;

Figura 4 visual da seção macrográfica da soldagem com arame tubular

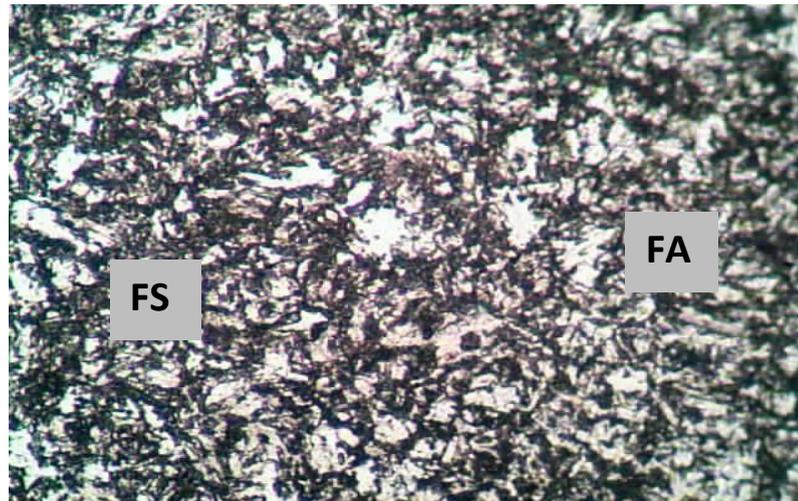


Arame Tubular - **A** (Zona Termicamente Afetada); **B** (Metal de Base); **C** – (Metal de Solda)

MICROGRÁFIA

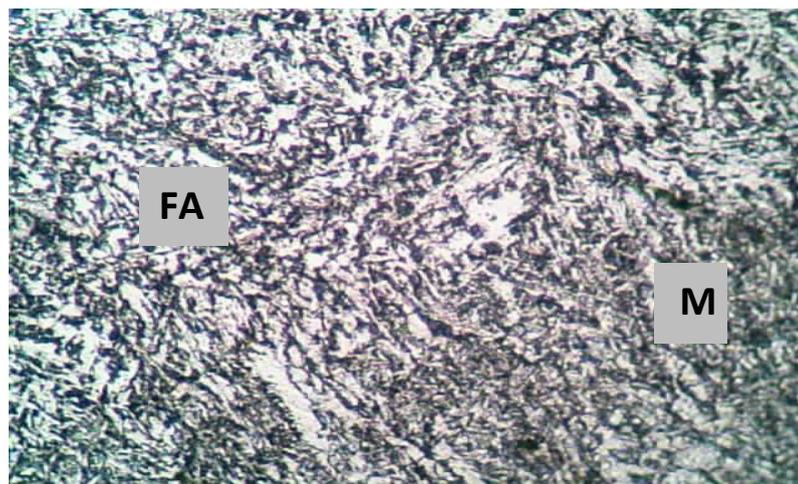
As Figuras 5 a 7 apresentam microestruturas onde podemos identificar qualitativamente os microconstituintes que formam o metal de solda. Na região colunar a estrutura predominante é a ferrita acicular (FA), ferrita primaria (FP) e ferrita de segunda fase alinhada (FSA).

Figura 5. Aspecto micrografico junta soldada Arame Tubular (Raiz)



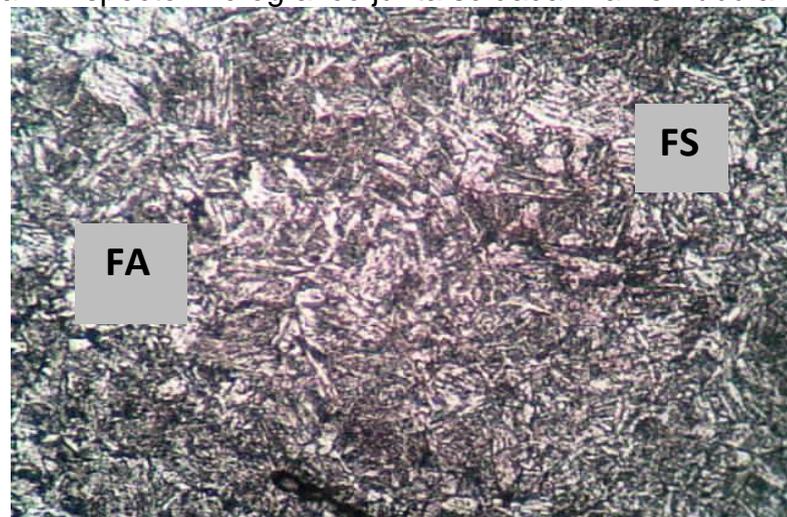
AT-3 – RAIZ -400X – NITAL 3%

Figura 6. Aspecto micrografico junta soldada Arame Tubular (Metal de solda)



AT-3 – METAL DE SOLDA -400X – NITAL 3%

Figura 7. Aspecto micrografico junta soldada Arame Tubular (Raiz)



AT-3 – ZTA -400X – NITAL 3

As Figuras V.9 e V.11 apresentam as micrografias do microscópio eletrônico de varredura (MEV) nas regiões de grãos colunares e de grãos reaquecidos ou refinados do metal de solda, soldados pelo processo de arame tubular.

Figura 8. Aspecto micrografico junta soldada arame tubular (MEV)

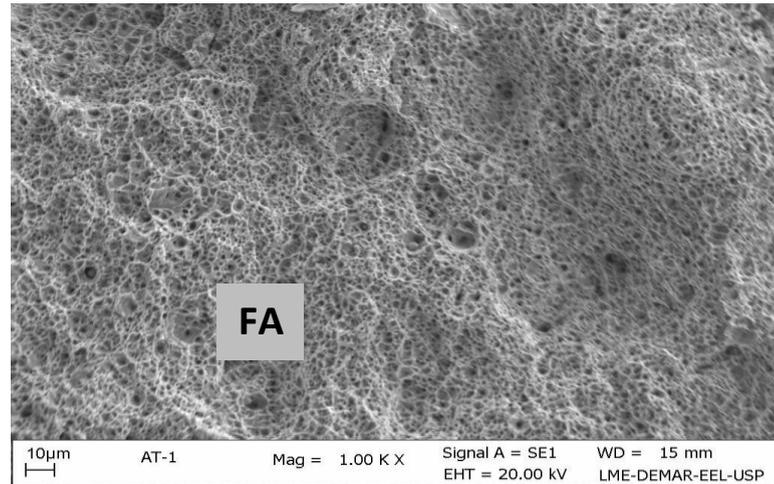


Figura 9. Aspecto micrografico junta soldada arame tubular (MEV)

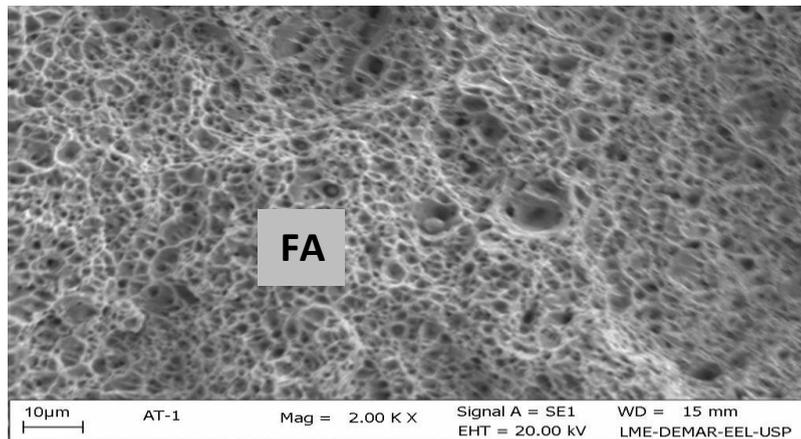
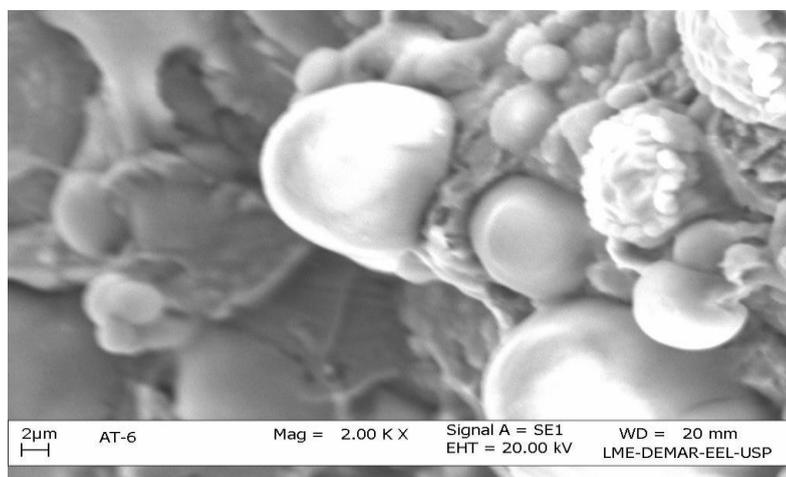


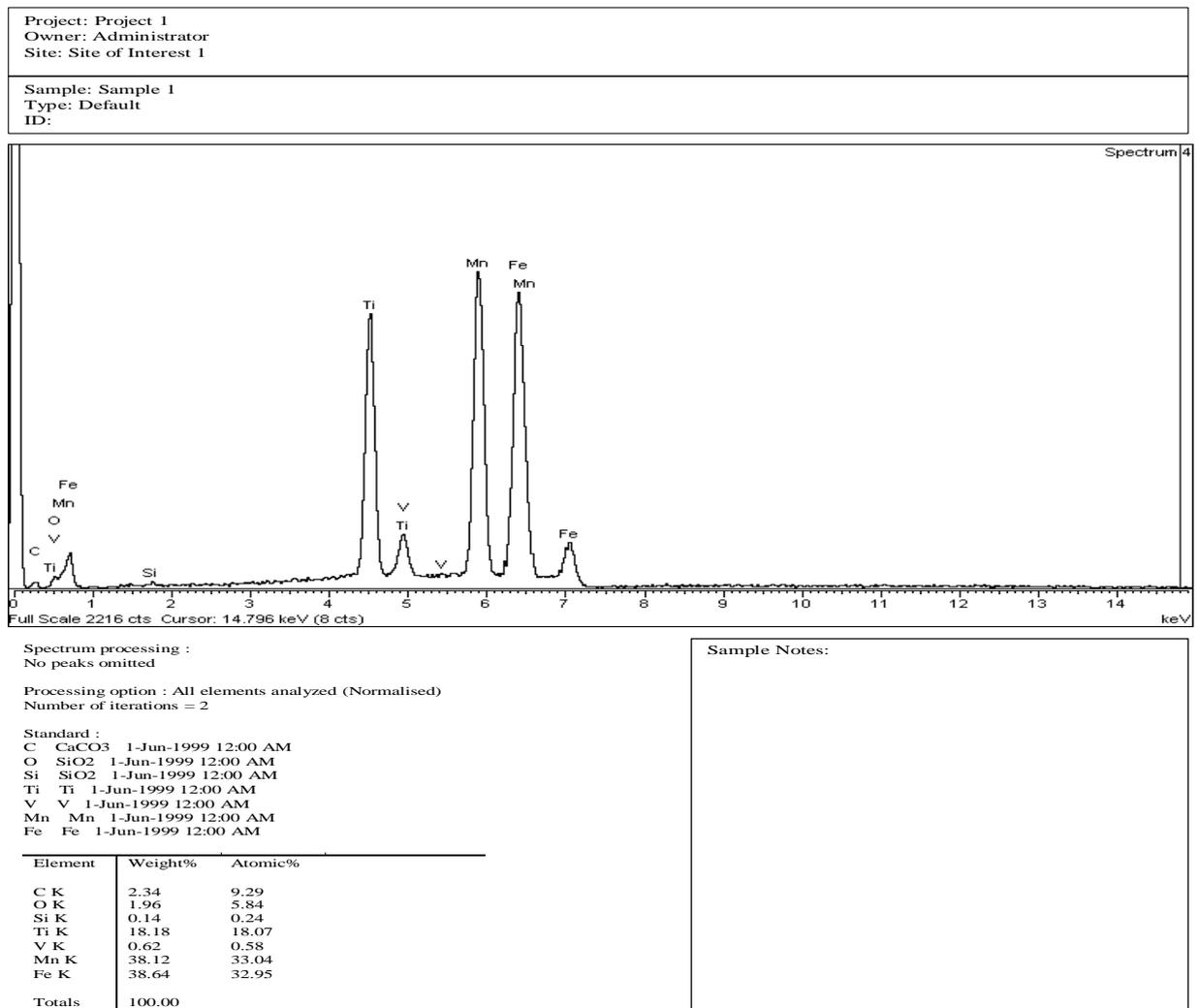
Figura 10. Aspecto micrografico junta soldada arame tubular (MEV)



MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O EDS da amostra AT3 (Arame tubular) apresenta formações em esfera em algumas regiões que caracteriza concentração de Manganês proveniente da abertura do arco e composição química do aço ASTM A 516 GRAU 70. Também podemos verificar a presença de outros elementos de liga tais como: Carbono, Ferro, Titânio, Vanádio, Silício, conforme Figura V.11.

Figura 11. Espectroscopia de Energia Dispersiva a amostra AT3



LME-DEMAR-EEL-USP

APLICAÇÕES

O processo de soldagem com arame tubular auto protegido pode ser utilizado na fabricação de diversos equipamentos e também na soldagem de equipamentos de amarração de plataformas “offshore” e manutenção em geral nas plantas de processos, as Figuras 12 a 14 apresentam algumas utilizações.

Figura 12



Torre de Processo Refinaria Presidente Getúlio Vargas (REPAR)

Figura 13



Torres de Processo Refinaria Henrique Lage (REVAP)

Figura 14



Esfera de Armazenamento Terminal de Ribeirão Preto -

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JORGE, C. F. J. et al. O Estado da Arte no Estudo da Fragilização ao Revenido de Juntas Soldadas de Aço 2,25%Cr-1,%Mo. **Tecnologia & Cultura**, CEFET/RJ, v. 4, n. 4. pp. 6-97, Jan 2001.

JORGE, C. F. J.; REBELLO, J. M. A. Influência do Tratamento Térmico Pós-Soldagem nas Propriedades mecânicas de Cordões de Solda de Alta Resistência. In: **Anais** do XVI Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, pp. 87-99. Caxambu, MG, dezembro, 1990.

SUMAN, J. A. **Efeito de Tratamentos Térmicos Pós-Soldagem nas Propriedades Mecânicas de Juntas Soldadas de Aço Fundido de Alta Resistência Mecânica**. Dissertação M. Sc., DPPG/CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

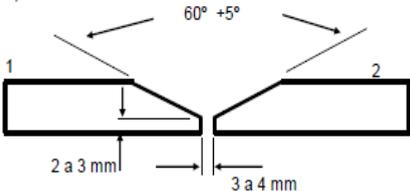
JOAQUIM, R. **Arame Tubular**. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br>>. Acesso em: 10/04/2006.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J. BRACARENSE, A. Q. Soldagem: Fundamentos e Tecnologia, Belo Horizonte, Editora UFMG, 2005.

ANEXO - I

	Especificação de Procedimentos de Soldagem Welding Procedure Specification ANEXO - I	NUMERO: 0EJ-AC-AT-08 (Number) REV.: 0 (Revision) DATA: 10/08/2013 (Date) FOLHA: 1/2 (Sheet)
---	--	--

NORMAS DE REFERÊNCIA: ASME VIII, N-133J . (Referenced Rules)	RQPS: 0EJ-AC-AT-08, rev. 0
PROCESSO (1): ARAME TUBULAR (FCAW) (Process 1)	TIPO: SEMIAUTOMÁTICA (Type)
PROCESSO (2): N/A (1) (Process 2)	TIPO: N/A (Type)

CROQUIS (Joint Detail) 	MATERIAL 1: ASTM A516 (Material 1) MATERIAL 2: ASTM A516 (Material 2) DIÂMETRO: CHAPA ESPESSURA: 16,0 mm (Diameter) (Thickness) REQUISITOS DE DUREZA: N/A (Hardness Requirements)
---	--

VARIÁVEIS (Variables)	VALORES DO R.Q.P.S (Values of PQR)				FAIXA QUALIFICADA (Qualified Range)			
MATERIAL 1 (Material 1)	P-Nº	1	Gr.	1	P Nº	1	Gr.	TODOS
MATERIAL 2 (Material 2)	P Nº	1	Gr.	1	P Nº	1	Gr.	TODOS
DIÂMETRO (Diameter)	CHAPA				TODOS			
ESPESSURA M. BASE (mm) (Thickness of Base Metal)	16,0 mm				5,0 a 38,0 mm			
ESPESSURA DO METAL DE SOLDA DEPOSITADO (mm) (Weld Metal Deposited Thickness)	PROCESSO (1) (Process 1)		16,0 mm		≤ 38,0 mm			
	PROCESSO (2) (Process 2)		N/A		N/A			
POSIÇÃO (Position)	2G				TODAS			
PROGRESSÃO (Progression)	ASCENDENTE () (Up Hill)		DESCENDENTE () (Down Hill)		ASCENDENTE () (Up Hill)		DESCENDENTE (X) (Down Hill)	
METAL DEPOSITADO (Weld Metal Deposited)	RAIZ (Root Pass)	ENCHIMENTO (Filling Pass)	ACABAMENTO (Cap Pass)	TUNGSTÊNIO (Tungsten)	RAIZ (Root Pass)	ENCHIMENTO (Filling Pass)	ACABAMENTO (Cap Pass)	TUNGSTÊNIO (Tungsten)
ESPECIFICAÇÃO AWS (AWS Specification)	A 5.20	A 5.20	A 5.20	N/A	A 5.20	A 5.20	A 5.20	N/A
CLASSIFICAÇÃO (SFA Classification)	E71T-11	E71T-11	E71T-11	N/A	E71T-11 / E7T-8-H16 (2)	E71T-11 / E7T-8-H16	E71T-11 / E7T-8-H16	N/A
FABRIC./M.COMERCIAL (Manufacturer/Brand Name)	LINCOLN / NR-211-MP	LINCOLN NR-211-MP	LINCOLN NR-211-MP	N/A	LINCOLN NR-211-MP/NR-233	LINCOLN NR-211-MP/NR-233	LINCOLN NR-211-MP/NR-233	N/A
DIÂMETRO (Diameter)	1,2 mm	1,2 mm	1,2 mm	N/A	TODOS	TODOS	TODOS	N/A
F-Nº (F Number)	6	6	6	N/A	6	6	6	N/A
A-Nº (A Number)	1	1	1	N/A	1	1	1	N/A
CARAC. ELÉTRICAS (Electrical Characteristics)	PROCESSO 1 (Process 1)		PROCESSO 2 (Process 2)		PROCESSO 1 (Process 1)		PROCESSO 2 (Process 2)	
CORRENTE (Welding Current)	CONTINUA		N/A		CONTINUA		N/A	
POLARIDADE (Polarity)	DIRETA		N/A		DIRETA		N/A	
VOLTAGEM (Voltage)	20 a 23 V		N/A		CONFORME CATÁLOGO FABRICANTE		N/A	
AMPERAGEM (Amperage)	130 a 250 A		N/A		CONFORME CATÁLOGO FABRICANTE		N/A	
STICK-OUT	20 a 24 mm		N/A		20 a 24 mm		N/A	

APROVAÇÕES (Approvals)		
Data: 10/08/2013 (Date) Luís Fernando P. Barreto / IS 0371 N2 (Level II Welding Inspector)	Data: 10/08/2013 (Date) CONTROLE DA QUALIDADE (Quality Control)	Data: (Date) CLIENTE (Customer)

		Especificação de Procedimentos de Soldagem Welding Procedure Specification			NUMERO: 0EJ-AC-AT-08 (Number) REV.: 0 (Revision) DATA: 10/08/2013 (Date) FOLHA: 2/2 (Sheet)	
ANEXO - I						
CONTROLE DE TEMPERATURA (Temperature Control)						
PRE-AQUECIMENTO (Pre-heating)	MINIMO (Minimum)	26°C		MINIMO (Minimum)	15°C	
TEMP.INTERPASSES (Interpass Temperature)	MAXIMA (Maximum)	≤ 221 °C		MAXIMA (Maximum)	TODAS	
PÓS-AQUECIMENTO (PostWeld Heating)	N/A	N/A	TEMPO (Time)	N/A	N/A	TEMPO (Time)
TRATAMENTO DE TERMICO (Heat Treatment)						
TEMPERATURA PATAMAR (Holding Temperature Time)	N/A	a (Up to)	N/A	N/A	a (Up to)	N/A
TEMPO PATAMAR (Holding Time)	N/A			MÍNIMO (Minimum)	N/A	
TAXA DE AQUECIMENTO (Heating Rate)	N/A		° C/hora (°C/Hour)	MAXIMO (Maximum)	N/A ° C/hora (°C/Hour)	
TAXA DE RESFRIAMENTO (Cooling Rate)	N/A		° C/hora (°C/Hour)	MÍNIMO (Minimum)	N/A ° C/hora (°C/Hour)	
DIF.ENTRE TERMOPARES (Thermocouples Difference)	MÁXIMO (Maximum)	N/A ° C		MÁXIMO (Maximum)	N/A ° C	
TEMPERATURA DE CONTROLE (Control Temperature)	A PARTIR DE (From)	N/A ° C		A PARTIR DE (From)	N/A ° C	
DUREZA (Hardness)	N/A		HB	MÁXIMA (Maximum)	N/A HB	
GAS (Gas)	TOCHA (Torch)		PURGA (Gas Backing)	TOCHA (Torch)		PURGA (Gas Backing)
TIPO (Type)	NAO		NAO	NAO		SIM / NAO
PERCENTUAL (%) (Percentual %)	N/A		N/A	N/A		N/A
VAZÃO (Flow Rate)	N/A		N/A	N/A		N/A
FORNECEDOR (Manufacturer)	N/A		N/A	N/A		N/A
MARCA COMERCIAL (Trade Name)	N/A		N/A	N/A		N/A
TECNICA (Technique)	RAIZ (Root)	ENCHIMENTO (Filling)	ACABAMENTO (Capping)	RAIZ (Root)	ENCHIMENTO (Filling)	ACABAMENTO (Capping)
OSCILAÇÃO (Oscillation)	OSCILANTE	OSCILANTE	OSCILANTE	TODAS	TODAS	TODAS
VELOCIDADE(cm/min.) (Travel Speed)	25 a 28	28 a 32	28 a 32	TODAS	TODAS	TODAS
HEAT INPUT (Heat Input)	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
LÍQUIDO PENETRANTE (Dye Penetrant Testing)	NÃO	NÃO	NÃO	SIM / NÃO	SIM / NÃO	SIM / NÃO
GOIVAGEM (Back Gouging)	SIM	NÃO	NÃO	SIM / NÃO	NÃO	NÃO
VERNIZ PROTETOR (Protection)	SIM (3)	SIM	SIM	SIM / NÃO	SIM / NÃO	SIM / NÃO
MEDIÇÃO TEMPERATURA (Temperature Control)	SIM	SIM	SIM	SIM / NÃO	SIM / NÃO	SIM / NÃO
PROTEÇÃO RESPINGOS (Spatters Protection)	NÃO	NÃO	NÃO	SIM / NÃO	SIM / NÃO	SIM / NÃO
LIMPEZA (Method Cleaning)	ESCOVAMENTO / ESMERILHAMENTO	ESCOVAMENTO / ESMERILHAMENTO	ESCOVAMENTO / ESMERILHAMENTO	ESCOVAMENTO E/OU ESMERILHAMENTO	ESCOVAMENTO E/OU ESMERILHAMENTO	ESCOVAMENTO E/OU ESMERILHAMENTO
OBSERVAÇÕES : (1) N/A significa não aplicável ; (2) ou outras classificações de arames fluxos autoprotetidos com F-Nº 6 e A-Nº 1 ; (3) marca Risky (Remarks)						
APROVAÇÕES (Approvals)						
Data: 10/08/2013		Data: 10/08/2013			Data:	
Inspetor de Soldagem Nível II (Level II Welding Inspector)		CONTROLE DA QUALIDADE (Quality Control)			Cliente (Customer)	