



Universidade Federal de Sergipe
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Núcleo de Engenharia Mecânica

ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM E
ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SOLDADORES
ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NORMA ASME

por

HELDER SILVEIRA COSTA DE OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso

São Cristóvão - SE
Agosto de 2012



Universidade Federal de Sergipe
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Núcleo de Engenharia Mecânica

**ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM E
ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SOLDADORES
ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NORMA ASME**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica, entregue como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

HELDER SILVEIRA COSTA DE OLIVEIRA

São Cristóvão - SE
Agosto de 2012

ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM E
ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SOLDADORES
ATENDENDO AS ESPECIFICAÇÕES DA NORMA ASME

HELDER SILVEIRA COSTA DE OLIVEIRA

‘Esse documento foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo colegiado do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Sergipe.’

Douglas Bressan Riffel, Dr.
Coordenador do Trabalho de Conclusão de Curso

Banca Examinadora:

Nota:

Alessandra Gois Luciano de Azevedo, Dr^a.
Orientadora

Wilson Luciano de Souza, Dr.

André Luiz de Moraes Costa, Dr.

Média Final...:

AGRADECIMENTOS

Durante o período de elaboração deste relatório de conclusão de curso em engenharia mecânica pude contar com o apoio de diversas pessoas que contribuíram para minha formação profissional e para a conclusão do presente relatório, porém, infelizmente, não posso citar todos.

Agradeço especialmente a minha família pela atenção que supera a distância entre nós.

Agradeço com muito carinho o suporte de minha querida namorada e sua família nos momentos em que precisei, agindo como uma segunda família.

Estou grato pela minha orientadora, a doutora Alessandra Gois Luciano Azevedo, e demais professores do Núcleo de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Sergipe pelas valiosas informações tanto durante o curso de Engenharia Mecânica como para a conclusão deste trabalho.

Agradecimentos aos empresários Moacir Nozari e Jaime Dalbosco; ao engenheiro mecânico Abimael Lucena; ao consultor industrial e eng. Galdino Dantas; aos inspetores de solda Marcos Tércio “Bagual” e Thiago Oliveira; ao encarregado de soldagem Luiz Antônio “Blue” pelo suporte financeiro, pela experiência profissional e pela amizade que eles me proporcionaram.

Muito Obrigado!

*“As dificuldades são o aço
estrutural que entra na
construção do caráter.”*

**Autor: Carlos
Drummond de Andrade**

RESUMO

O aquecimento da economia brasileira, no tocante ao mercado de fabricação/manutenção de caldeiras e vasos de pressão, teve como uma de suas principais consequências o aumento da exigência ao cumprimento da norma *American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section IX*, ocasionando uma necessidade de profissionais habilitados e procedimentos de soldagem qualificados. O presente trabalho objetivou elaborar um procedimento de soldagem e analisar o desempenho de soldadores de uma indústria, tendo como referência o código da ASME. No decorrer deste trabalho, foram projetados, fabricados, testados e analisados diversos corpos-de-prova obedecendo aos procedimentos e critérios de aceitação da *ASME Section IX*. O procedimento de soldagem elaborado foi testado e aprovado, assim como o desempenho de um dos soldadores em todas as posições de soldagem. Para os demais soldadores desta indústria, recomendou-se um treinamento periódico e registrado para possibilitar que os mesmos atinjam o nível de qualidade incorporada da *ASME Section IX*.

Palavras-chave: Procedimento; Soldagem; ASME.

ABSTRACT

The warming of the Brazilian economy, with regard to the market of manufacturing / maintenance of boilers and pressure vessels, had as one of its main consequences the increase of requirement to comply with the standard American Society of Mechanical Engineers (ASME) Section IX, causing a need of skilled professionals and qualified welding procedures. This study aimed to develop a welding procedure and analyze the performance of the welders of an industry, with reference to the ASME code. In this work, were designed, manufactured, tested and analyzed a lot of test specimens obeying procedures and acceptance criteria of ASME Section IX. The welding procedure prepared was tested and approved, as well as the performance of one of the welders in all welding positions. For the others welders in that industry, was recommended a periodic and registered training to enable them to reach the level of quality embodied in ASME Section IX.

Key-words: Procedure; Welding; ASME.

SUMÁRIO

1. Introdução.	1
2. Objetivos.	2
2.1. Objetivos Gerais.	2
2.2. Objetivos Específicos.....	2
3. Importância do estudo.	3
4. Revisão Bibliográfica	5
4.1. Soldagem.	5
4.1.1. Definições e classificações.	5
4.1.2. Chanfros e juntas.....	5
4.1.3. Processo de soldagem por eletrodo revestido.	7
4.1.4. Normalização e qualificação.....	10
4.2. Ensaios relevantes à soldagem.	11
4.2.1. Ensaios não-destrutivos.....	11
4.2.1.1. Inspeção visual.	11
4.2.1.2. Inspeção por líquido penetrante.....	12
4.2.1.3. Inspeção radiográfica.	13
4.2.2. Ensaios destrutivos.....	13
4.2.2.1. Ensaio de tração.....	13
4.2.2.2. Ensaio de dobramento.	15
4.3. Qualificação do Procedimento de Soldagem.....	17
4.4. Qualificação dos soldadores.	21
5. Materiais utilizados.	25
5.1. Qualificação do procedimento de soldagem.....	25
5.1.1. Metal de base.....	25
5.1.2. Metal de adição.....	28
5.2. Qualificação dos soldadores.	31
5.2.1. Metal de base.....	31
5.2.2. Metal de adição.....	31
6. Resultados e discussões.	32
6.1. Qualificação do procedimento de soldagem.....	32
6.1.1. Parâmetros de soldagem registrados.....	32
6.1.2. Ensaios não-destrutivos (END's).	33
6.1.2.1. Ensaio Visual.....	33
6.1.2.2. Ensaio por Líquido Penetrante.....	34
6.1.3. Ensaio destrutivos.	35

6.1.3.1. Ensaio de Tração.....	36
6.1.3.2. Ensaio de dobramento.	38
6.2. Qualificação dos soldadores.	42
6.2.1. Ensaios não destrutivos.....	42
6.2.1.1. Ensaio visual de solda.....	42
6.2.1.2. Ensaio por líquido penetrante.....	46
6.2.2. Ensaio destrutivo de dobramento.	50
7. Conclusão.....	52
8. Referências Bibliográficas.....	53
9. Anexos.....	54
9.1. Anexo A – Classificações dos processos de soldagem, segundo a AWS.	54
10. Apêndices.....	55
10.1. Apêndice A.	55
10.2. Apêndice B.	56
10.3. Apêndice C.	57
10.4. Apêndice D.	58
10.5. Apêndice E.	59
10.6. Apêndice F.....	60
10.7. Apêndice G.	61
10.8. Apêndice H.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Chanfros e juntas. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009)	6
Figura 2 - Elementos dimensionais de um chanfro.....	6
Figura 3 - Posições de soldagem (ASME S. IX, 2010).....	10
Figura 4 - Respingos na solda.....	12
Figura 5 - Falta de fusão e respingos.	12
Figura 6 - Aplicação do LP.	12
Figura 7 - Aplicação do revelador.	12
Figura 8 - Máquina de ensaio universal durante ensaio de tração.....	14
Figura 9 - Limite de resistência à tração, M. (CALLISTER, 2009).....	15
Figura 10 - Processo de dobramento (NBR 6153, 1988).....	16
Figura 11 - Ângulo de dobramento (α) (NBR 6153, 1988).....	16
Figura 12 - Máquina de Ensaio Universal durante ensaio de dobramento (90°).....	16
Figura 13 - Chapa utilizada para qualificação do procedimento de soldagem.....	27
Figura 14 – Limites de chanfro (ASME S. IX, 2010).....	27
Figura 15 - Dimensões da chapa utilizada para RTQS.	31
Figura 16 - Ensaio visual da chapa para RQPS: a) face e b) raiz.	34
Figura 17 - Ensaio por líquido penetrante para RQPS, LP: a) Face e b) Raiz.	35
Figura 18 - Ensaio por líquido penetrante para RQPS, Revelador: a) Face e b) Raiz.	35
Figura 19 - Dimensões do corpo de prova de tração projetado.....	36
Figura 20 - Gráfico Tensão x Deformação, tração 01.....	37
Figura 21 - Gráfico Tensão x Deformação, tração 02.....	37
Figura 22 - Dimensões do corpo de prova de dobramento de face e raiz projetado.....	39
Figura 23– Medidas genéricas do equipamento de dobramento (ASME S. IX, 2010).	40
Figura 24 - CP's de dobramentos, ensaiados e aprovados.....	41
Figura 25 - Defeito visual $> 3,2$ mm.	41
Figura 26 - Ensaio Visual em amostras do soldador A.	43
Figura 27 - Ensaio visual em amostras do soldador B.	44
Figura 28 – Ensaio visual em amostras do soldador C.	45
Figura 29 - Revelador aplicado nos corpos de prova do soldador A.	47
Figura 30 - Revelador aplicado nos corpos de prova do soldador B.	48
Figura 31 - Revelador aplicado nos corpos de prova do soldador C.	49
Figura 32 – CP's do ensaio de dobramento de todos os soldadores testados.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de eletrodos revestidos (AWS, 2008).	8
Tabela 2 - Classificação de eletrodos revestidos (NBR 10614, 1989).	9
Tabela 3 - Soldas em ângulo qualificadas por soldas em chanfros (ASME S. IX, 2010).....	17
Tabela 4 - Variáveis para o procedimento de soldagem SMAW (ASME S. IX, 2010).	19
Tabela 5 - Limites de espessuras, tipos e quantidades de testes para qualificação do procedimento de soldagem (ASME S. IX, 2010).	20
Tabela 6 - Tipos e quantidade de testes para RTQS (ASME S. IX, 2010)	22
Tabela 7 - Limites de espessura de metal depositado para RTQS (ASME S. IX, 2010).....	22
Tabela 8 - Limites de qualificação de cada posição testada (ASME S. IX, 2010).....	23
Tabela 9 - Variáveis essenciais para soldadores, ASME (ASME S. IX, 2010).	24
Tabela 10 - Agrupamento de metais de base (ASME S. IX, 2010).	25
Tabela 11 - Propriedades mecânicas do aço carbono ASTM A-36.	26
Tabela 12 - Metais de base alternativos permitidos (ASME S. IX, 2010).	26
Tabela 13 - Classificação AWS e especificação ASME, eletrodos (ASME S. IX, 2010).	28
Tabela 14 - Eletrodos utilizados no RQPS.	29
Tabela 15 - Faixa de eletrodos alternativos (ASME S. IX, 2010).	30
Tabela 16 - Parâmetros de soldagem registrados, RQPS.	32
Tabela 17 - Resultados dos ensaios de tração, RQPS.	38
Tabela 18- Medidas necessárias do equipamento de dobramento para chapa de aço carbono ASTM A-36 com espessura de ¼".	40
Tabela 19 - Resultados dos ensaios de dobramento, RQPS.	41
Tabela 20 - Resultados do ensaio de dobramento de todos os soldadores testados.	50

1. Introdução.

A tecnologia da soldagem cresceu radicalmente depois das experiências de Sir Humphrey Davy (1801-1806); do registro de patente de um processo de soldagem por Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky em 1885; desenvolvimento de processos de soldagem por resistência, aluminotermia e a gás no final do século XIX e o marco da soldagem foi o patenteamento do processo de soldagem a arco com eletrodo revestido por Oscar Kjellberg, em 1907. Graças a este patenteamento, foi possível realizar adaptações, tornando-se o processo de soldagem mais utilizado no mundo. O processo de soldagem tem fundamental importância no ramo de fabricação no setor metal mecânico e, atualmente, há mais de 50 processos de soldagem diferentes utilizados industrialmente (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE 2009). A utilização de técnicas de soldagem teve um aumento considerável por causa do crescimento dos setores: siderúrgico, metalúrgico, petroquímico entre outros; conseqüentemente o número de demanda de profissionais qualificados aumentou (soldadores, técnicos, inspetores e engenheiros), assim como o conhecimento técnico, fiscalização e exigência por um padrão de qualidade elevado.

Uma grande empresa, como a Petrobrás por exemplo, exige de seus fornecedores um padrão de qualidade elevado no quesito soldagem. Após a Petrobrás, muitas outras grandes empresas adotaram uma política de qualidade e a conseqüência desse fato foi um desencadeamento de adoção de gestão de qualidade nos diversos setores do Brasil. Os produtos soldados que vão ser utilizados no setor petroquímico, por exemplo, têm que ser inspecionados e/ou testados conforme aplicação. Para tais inspeções ou testes são necessários realizações de ensaios destrutivos e não-destrutivos, obedecendo a padrões normativos.

Para que uma empresa possa operar utilizando processos soldagem, é necessária a contratação de soldadores qualificados em cada processo separadamente. Essa qualificação é baseada em normas específicas para a soldagem e garante um padrão de qualidade no setor de fabricação da empresa, o que termina funcionando como um fator diferencial mercadológico, reduzindo acidentes provocados por falhas nos componentes soldados. Além da qualificação dos soldadores é importante que a empresa possua procedimentos de soldagem expostos em locais apropriados para facilitar o entendimento do soldador sobre o que deve ser feito para execução da soldagem. Desta forma, a elaboração de um procedimento de soldagem que atenda adequadamente as normas de qualificação e qualidade da solda é de suma importância para garantir à empresa a inserção no mercado de produtos de qualidade. Desta forma, o objetivo desse trabalho é elaborar um procedimento de soldagem de acordo com a Norma ASME para garantir que os soldadores atendam as especificações de qualificação dos processos de soldagem empregados.

2. Objetivos.

2.1. Objetivos Gerais.

O presente trabalho tem o intuito de elaborar um procedimento de soldagem e analisar o desempenho de soldadores de uma indústria, tendo como referência o código da *American Society of Mechanical Engineers (ASME)*, para possibilitar estabelecer um nível de excelência em qualidade de soldagem por eletrodo revestido, permitindo a fabricação ou realização de serviços de manutenção em caldeiras e vasos de pressão.

2.2. Objetivos Específicos.

A meta deste trabalho é estudar a regularização do processo tanto de forma documental como prática, portanto, se faz necessário focar o trabalho nos seguintes tópicos:

- Elaboração de uma Especificação de Procedimento de Soldagem;
- Fabricação, de acordo com a *ASME*, de corpos-de-prova soldados;
- Elaboração do Registro de Qualificação do Procedimento de Soldagem;
- Realização de ensaios não destrutivos: análise visual e por líquido penetrante, normatizados pela *ASME*;
- Realização de ensaios destrutivos: ensaios de tração e/ou de dobramento, normatizados pela *ASME*;
- Elaboração do Registro de Teste de Qualificação de Soldadores;
- Análise da viabilidade do processo de soldagem por eletrodo revestido como recurso para fabricação ou manutenção de caldeiras e vasos de pressão.

3. Importância do estudo.

O aumento da busca por equipamentos e sistemas destinados à geração de energia, caldeiras, vasos de pressão, tubulações e outros, tanto pelo mercado nacional como pelo mercado internacional, tem gerado uma intensa demanda de fabricação destes equipamentos e sistemas, ocasionando o “aquecimento” do mercado referente à soldagem. Devido a este fator, muitas empresas estão sendo criadas, muitos soldadores estão sendo transferidos de uma indústria para outra e as demandas para atender às rigorosas exigências dos códigos e normas internacionais estão se intensificando, havendo um conseqüente “aquecimento” do nicho mercadológico referente à qualificação de procedimentos de soldagem e de soldadores contratados com base nestes códigos e normas.

Um vaso de pressão e uma caldeira trabalham, normalmente, a altas pressões e temperaturas. A fabricação de uma caldeira ou de um vaso de pressão por soldadores não qualificados pela norma apropriada, pode ocasionar a realização de soldas com não-conformidades em algum componente destes produtos. Uma falha em algum daqueles itens pode ocasionar: queimaduras, incêndio, explosão, perda de material, poluição do meio ambiente entre outros acidentes. Devido ao perigo intrínseco destes equipamentos, são exigidos profissionais competentes e qualificados para fabricá-los. Com o intuito de preservar vidas, meio ambiente e capital, foram criadas normas específicas como a NR-13 (norma brasileira) e a ASME (norma americana, referência internacional).

De acordo com a Norma Regulamentadora nº 13 (NR-13), os procedimentos previstos pelo código da ASME Seção IX (Qualificação de Soldagem e Brasagem) e seção V (Ensaio Não-destrutivo) são exemplos de qualificação e certificação de pessoal tanto para caldeiras como para vasos de pressão no tocante à fabricação e/ou manutenção. Todos os reparos ou alterações em caldeiras devem respeitar ao respectivo código de projeto de construção e às prescrições do fabricante no que se refere a: materiais, procedimentos de execução, procedimentos de controle de qualidade e qualificação e certificação de pessoal, conforme item 13.4.1 (caldeiras) e 13.9.1 (vasos de pressão) da NR-13. No caso de tubulações, tanto para caldeiras como para vasos de pressão, a abrangência se dá ao trecho existente entre a caldeira e o flange mais próximo. Extendendo-se, para as caldeiras, aos periféricos, tais como: chaminé, ventiladores, instrumentação e etc. “Para efeito desta NR, considera-se Profissional Habilitado (PH) aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento de operação e manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras e vasos de

pressão, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no país.” (NR-13, 2004).

O órgão fiscalizador referente a este tipo de atividade é o Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (CREA) da região onde a empresa está instalada, o qual tem autoridade para autuar, multar e embargar obras e sistemas produtivos que estejam irregulares, apresentando riscos ao meio ambiente e/ou à sociedade.

Para uma empresa de fabricação de caldeiras e vasos de pressão, tanto a qualificação do processo de soldagem como dos soldadores pela *ASME Section IX* têm um baixo custo perante a movimentação financeira de uma empresa e dos benefícios em áreas diversas que a qualificação acarreta, tais como:

- Economia e Logística – Diminuição de perdas com retrabalho;
- Fiscal – Estar tecnicamente legal para dar-se início às atividades de fabricação e manutenção em caldeiras e vasos de pressão;
- Segurança – Redução de risco de acidentes, como: queimaduras, explosões, perda de material e demais riscos;
- Qualidade – Reflexo na imagem da empresa perante mercado;
- Publicidade e Economia – Inserção no nicho mercadológico de fabricação e manutenção qualificada em caldeiras e vasos de pressão.

4. Revisão Bibliográfica.

4.1. Soldagem.

4.1.1. Definições e classificações.

Um tipo de união entre metais bastante utilizada nas indústria é a soldagem, onde a união é realizada através da ação de forças microscópicas provenientes das formações de ligações metálicas e de Van der Waals. A Associação Americana de Soldagem (American Welding Society – AWS) define o processo de soldagem como “Processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”. Existe uma grande quantidade de processos de soldagem, inicialmente eles são classificados em dois grandes grupos, soldagem por pressão e por fusão.

A soldagem por pressão consiste na aplicação de pressão nos materiais a serem soldados a fim de deformar as superfícies de contato para que haja uma aproximação dos átomos o suficiente para uní-los. Alguns exemplos da soldagem por pressão são: por fricção, por explosão, por ultrassom, por forjamento, por laminação, por pressão a quente, entre outros.

A soldagem por fusão consiste na aplicação de energia térmica no local a ser soldado até atingir o ponto de fusão metal de base e, se necessitar, do metal de adição. Alguns exemplos da soldagem por fusão são: com eletrodo revestido, com arame tubular, por eletrodo-escória, a arco submerso, MIG (*Metal Inert Gas*), MAG (*Metal Active Gas*), TIG (*Tungstein Inert Gas*), a laser, por feixe de elétrons, entre outros.

Os processos de soldagem classificados, segundo a AWS, são mostrados no Anexo A. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui uma norma que padroniza números e nomes de processos de soldagem, para representação simbólica em desenho técnico, conforme NBR 13043 – Soldagem – Números e nomes de processos.

4.1.2. Chanfros e juntas.

Durante a soldagem, o material a ser soldado é denominado de metal de base enquanto que o material adicionado é chamado de metal de adição. A região de intersecção onde as peças serão unidas por soldagem é chamada de junta e, dependendo das características da soldagem, pode necessitar de cortes especiais, chamados de chanfros. O tipo de chanfro a

ser utilizado depende do processo de soldagem, espessura do metal de base, dimensões da peça, acessibilidade, custo de preparação, entre outros. A Figura 1 apresenta chanfros usados em diferentes tipos de juntas.

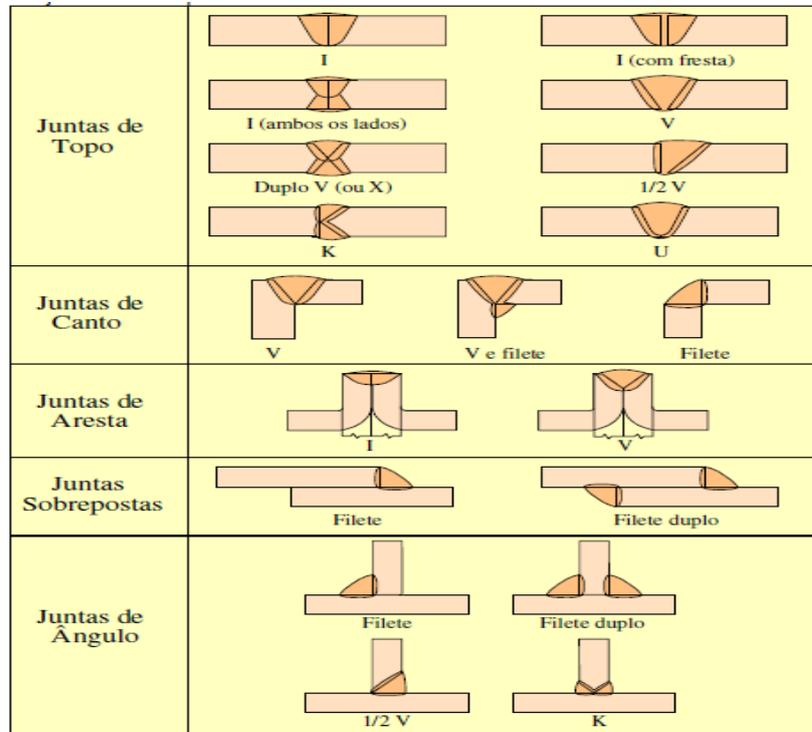


Figura 1 - Chanfros e juntas. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009)

O chanfro mais comum na prática de soldagem é um chanfro em I porque, na maioria das vezes, atende à penetração desejada. As características desse tipo de chanfro são o baixo custo e a não necessidade de usinagem do material a ser unido, porém o fator limitante deste tipo de chanfro é a capacidade de unir material apenas de pequena espessura. Para a fabricação de um chanfro, é necessário determinar algumas características como abertura da raiz, nariz, ângulo de chanfro, ângulo de bisel e raio do chanfro que são bem apresentados de acordo com a Figura 2.

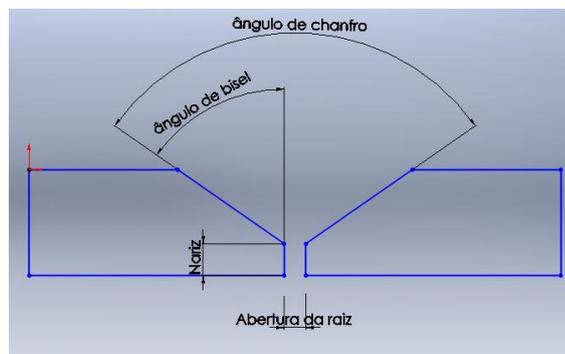


Figura 2 - Elementos dimensionais de um chanfro.

4.1.3. Processo de soldagem por eletrodo revestido.

O processo de soldagem mais utilizado nas indústrias é a soldagem por fusão por eletrodo revestido, que “é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e a peça que esta sendo soldada.” (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009) e é classificado como *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) pela norma americana (AWS D1.1, 2008) e classificado como Soldagem a Arco Elétrico com Arame Revestido e enumerado como 115 pela norma brasileira (NBR 13043, 1993). A razão deste ser o processo mais utilizado nas indústrias se deve ao fato de possuir ótimas características, como: não necessita de elevadas concentrações de energia para a fusão localizada, fácil controle e manuseio, baixo custo, não requer proteção adicional (gás/fluxo), pouco sensível a ação do vento, elevada versatilidade entre outras. Algumas desvantagens inerentes a este tipo de processo são, por exemplo: baixa taxa de deposição, presença de escória, requer cuidados de armazenamento e soldadores especializados.

O eletrodo revestido é uma vareta metálica, revestida por uma mistura de diferentes materiais, que fornece metal de adição para enchimento de uma junta. As principais funções de seu revestimento são: possibilitar diferentes tipos de corrente e polaridade, redução de respingos e fumos, facilitar soldagem em diferentes posições, estabilização de arco, proteção da poça de fusão contra contaminação entre outras. Atualmente, cada eletrodo comercial cumpre algumas dessas funções com qualidade enquanto que as demais funções não são cumpridas com eficiência, portanto, é de fundamental importância determinar o tipo correto de eletrodo a ser utilizado no processo. Com a finalidade de padronizar os diferentes tipos de eletrodos, sociedades como AWS, DIN, ABNT, ISO propuseram, cada uma, um modelo de especificação. O modelo mais utilizado no Brasil é o da AWS onde, para eletrodos de aço carbono e de baixa liga (AWS A 5.1 e AWS A 5.5, respectivamente). De acordo com a AWS, os eletrodos são classificados com base no tipo de corrente, revestimento e posição de soldagem, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação de eletrodos revestidos (AWS, 2008).

Eletrodo	Tipo de Revestimento	Posição de soldagem ^(*)	Tipo de Corrente ^(**)
E 6010	Celulósico, sódio	P, H, V, SC	CC +
E 6011	Celulósico, potássio	P, H, V, SC	CC +, CA
E 6012	Rutílico, sódio	P, H, V, SC	CC -, CA
E 6013	Rutílico, potássio	P, H, V, SC	CC +, CC -, CA
E 6019	Ácido/Rutílico, potássio	P, H, V, SC	CC +, CC -, CA
E 6020	Ácido	P, Filete H	CC +, CC -, CA
E 7014	Rutílico com pó de ferro	P, H, V, SC	CC +, CC -, CA
E 7015	Básico, sódio	P, H, V, SC	CC +
E 7016	Básico, potássio	P, H, V, SC	CC +, CA
E 7018	Básico, potássio, pó de ferro	P, H, V, SC	CC +, CA
E 7024	Rutílico, pó de ferro	P, Filete H	CC +, CC -, CA
E 7027	Ácido, pó de ferro	P, Filete H	CC +, CC -, CA
E 7048	Básico, potássio, pó de ferro	P, H, V, SC, Vd	CC -, CA

(*)P = Plana, H = Horizontal, V = Vertical, SC = Sobrecabeça, Filete H = Filete Horizontal, Vd = Vertical descendente.

(**) CA = Corrente Alternada, CC + = Corrente contínua eletrodo positivo, CC - = Corrente contínua eletrodo negativo.

O modelo nacional, conforme NBR 10614 – Eletrodos revestidos de aço-carbono para a soldagem a arco elétrico – Classificação, tem grandes semelhanças em relação ao da AWS. De acordo com a NBR 10614, os eletrodos são classificados com base no tipo de corrente, revestimento e posição de soldagem e esta classificação é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de eletrodos revestidos (NBR 10614, 1989).

Classificação	Tipo de revestimento	Posição de Soldagem ^(*)	Tipo de Corrente
E 6010	Tipo sódio com alto teor de celulose	P, V, SC, H	CC, eletrodo positivo
E 6011	Tipo potássio com alto teor de celulose	P, V, SC, H	CA ou CC, eletrodo positivo
E 6012	Tipo sódio com alto teor de titânio	P, V, SC, H	CA ou CC, eletrodo negativo
E 6013	Tipo potássio com alto teor de titânio	P, V, SC, H	CA ou CC, qualquer polaridade
E 6020	Alto teor de óxido de ferro	H – ângulo, P	CA ou CC, eletrodo negativo
E 6022 ^(**)	Alto teor de óxido de ferro	P	CA ou CC, qualquer polaridade
E 6027	Alto teor de óxido de ferro, pó de ferro	H – ângulo, P	CA ou CC, eletrodo negativo
E 7014	Titânio, pó de ferro	P, V, SC, H	CA ou CC, qualquer polaridade
E 7015	Tipo sódio com baixo teor de hidrogênio	P, V, SC, H	CC, eletrodo positivo
E 7016	Tipo potássio com baixo teor de hidrogênio	P, V, SC, H	CA ou CC, eletrodo positivo
E 7018	Tipo potássio com baixo teor de hidrogênio, pó de ferro	P, V, SC, H	CA ou CC, eletrodo positivo
E 7024	Titânio, pó de ferro	H – ângulo, P	CA ou CC, qualquer polaridade
E 7027	Alto teor de óxido de ferro, pó de ferro	H – ângulo, P	CA ou CC, eletrodo negativo
E 7028	Tipo potássio com baixo teor de hidrogênio, pó de ferro	H – ângulo, P	CA ou CC, eletrodo positivo
E 7048	Tipo potássio com baixo teor de hidrogênio, pó de ferro	P, SC, H, V – desc.	CA ou CC, eletrodo positivo

(*) P = plana; V = Vertical ascendente; V = desc. – Vertical descendente; SC = Sobrecabeça; H = Horizontal; H – ângulo = Horizontal em ângulo.

(**) Os eletrodos da classificação E 6022 são para soldas de um único passe.

A *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) é dividida em várias seções. A seção IX é a mais importante para este trabalho e esta está dividida em 2 partes: soldagem e brasagem. Cada parte está dividida em vários artigos, sendo QW para soldagem e QB para brasagem. A ASME classifica as posições de soldagem, conforme QW – 461.3, que são apresentadas na Figura 3.

QW-461.3 GROOVE WELDS IN PLATE – TEST POSITIONS

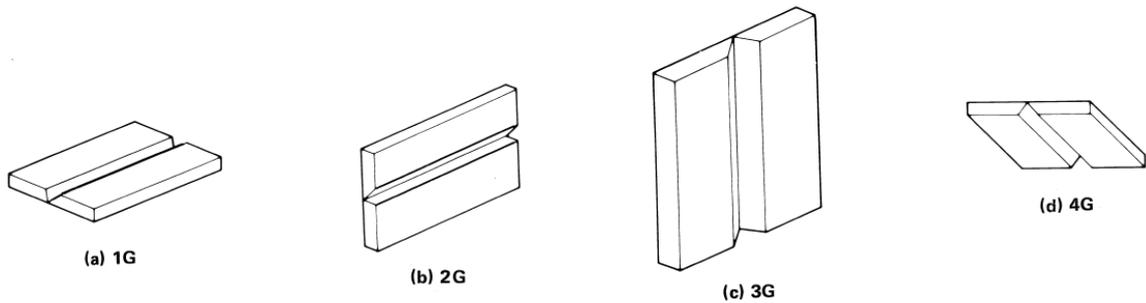


Figura 3 - Posições de soldagem (ASME S. IX, 2010).

De acordo com QW-121, temos que:

- Posição plana 1 G: chapa no plano horizontal, com o metal de solda depositado por cima;
- Posição horizontal 2 G: chapa no plano vertical, com o eixo da solda na posição horizontal;
- Posição vertical 3 G: chapa no plano vertical, com o eixo da solda na posição vertical;
- Posição sobre-cabeça 4 G: chapa no plano horizontal, com o metal de solda depositado por baixo.

4.1.4. Normalização e qualificação.

De acordo com MARQUES, MODENESI E BRACARENSE (2009), “a falta de regulamentação nas diferentes etapas de um processo de fabricação, ou a não observância de regulamentações existentes, tem ocasionado acidentes e outros problemas que podem ter sérias consequências tanto para os produtores, como para os usuários e, também para a população em geral e para o meio ambiente. O uso bem-sucedido de normas pode resultar em uma produção mais uniforme, reduzindo a variabilidade de produtos e procedimentos, melhor controle de qualidade, maior rastreabilidade, possibilidade de correção de falhas em produtos e um método de produção mais sistemático”. A norma mais utilizada e exigida no mercado de fabricação/manutenção de caldeiras e vasos de pressão é a ASME, a qual exige documentos específicos, como: Especificação do Procedimento de Soldagem (EPS), Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS) e Registro de Teste de Qualificação de Soldador (RTQS). As EPS’s devem ser preparadas, testadas e qualificadas e somente podem ser executadas por soldadores qualificados, para isto, se faz necessária a

realização de ensaios destrutivos e não-destrutivos em corpos-de-prova normatizados, que foram soldados obedecendo todas as variáveis descritas no procedimento de soldagem.

4.2. Ensaios relevantes à soldagem.

Ensaaios destrutivos e não-destrutivos são necessários para a certificação do processo de soldagem de uma indústria e da mantenedibilidade das qualificações dos soldadores da mesma, tendo como exemplo: inspeção visual de solda, inspeção por líquido penetrante, inspeção por partículas magnéticas, teste de dureza, teste de carga, inspeção radiográfica, ensaio por impacto charpy, ensaio de tração e de dobramento, obedecendo a normas relativas à soldagem de aço carbono.

4.2.1. Ensaios não-destrutivos.

Ensaaios não-destrutivos são ensaios que permitem determinar as características dos materiais, sem prejudicar sua integridade (CHIAVERINI, 1986). Alguns ensaios, citados anteriormente, que pertencem a este grupo são: inspeção visual de solda, inspeção por líquido penetrante, inspeção por partículas magnéticas, teste de carga e inspeção radiográfica. A seguir, serão explicados somente os ensaios que poderão ser realizados durante este trabalho.

4.2.1.1. Inspeção visual.

A inspeção visual é o método mais barato e rápido que podemos utilizar na inspeção de soldas de uma indústria. A inspeção visual pode, por exemplo, detectar os seguintes defeitos numa solda: presença de fissuras superficiais significativas, crateras não preenchidas, respingos na região próxima a solda, falta de fusão, mordeduras e etc (CHIAVERINI, 1986). Durante a fabricação, é necessário ter um controle com as soldas para que as mesmas não venham a falhar quando estiverem sob trabalho, podendo ocasionar danos materiais, lesões ou mortes. Na maioria dos casos, uma inspeção visual da solda garante uma boa qualidade do material trabalhado, podendo ser observado a quantidade de respingos (Figura 4), falta ou excesso de penetração, falta de fusão (Figura 5) e o surgimento de possíveis trincas.



Figura 4 - Respingos na solda.



Figura 5 - Falta de fusão e respingos.

Para garantir a qualidade das soldagens realizadas num determinado equipamento/estrutura é necessária a presença de um inspetor de solda N1, devidamente habilitado pela Federação Brasileira de Tecnologia da Soldagem (FBTS) para emitir e assinar um relatório certificando as soldas.

4.2.1.2. Inspeção por líquido penetrante.

O líquido penetrante (LP) é o segundo método de inspeção mais utilizado nas indústrias devido a sua facilidade de execução e seu baixo custo. Este método é capaz de detectar descontinuidades abertas para a superfície a ser inspecionada (CHIAVERINI, 1986).



Figura 6 - Aplicação do LP.



Figura 7 - Aplicação do revelador.

O método consiste na aplicação de um líquido, normalmente de cor rosa, com propriedades físicas específicas (tensão superficial, capilaridade, viscosidade, molhabilidade, densidade, toxidade e etc..), na superfície do objeto a ser inspecionado, conforme Figura 6. Este líquido, devido às suas propriedades, penetra em fissuras/trincas expostas na superfície. Após tempo suficiente para que tenha ocorrido a penetração do LP nas discontinuidades superficiais do material a ser inspecionado, retira-se o excesso do LP e aplica-se o revelador, conforme Figura 7, que irá reagir quimicamente com o LP, indicando possíveis defeitos superficiais, e então o avaliador irá julgar se é necessário refazer a solda ou não.

4.2.1.3. Inspeção radiográfica.

Tal inspeção se caracteriza pelo fato de usar radiação de ondas eletromagnéticas curtas, tais como raios X e raios gama. Este tipo de ensaio permite detectar defeitos de porosidade, fissuras e etc. Os raios, ao passarem através do material contendo a descontinuidade, são absorvidos pelas secções defeituosas em menor intensidade do que pelas secções adjacentes gerando, como resultado, uma fotografia radiográfica de áreas claras e escuras, onde as áreas escuras correspondem às secções defeituosas (CHIAVERINI, 1986).

4.2.2. Ensaio destrutivos.

Ensaio destrutivos são ensaios que permitem determinar as características dos materiais, prejudicando sua integridade física. Alguns ensaios que pertencem a este grupo são: teste de dureza, ensaio por impacto charpy, ensaio de tração, ensaio de dobramento, entre outros. A seguir, serão explicados somente os ensaios realizados durante este trabalho.

4.2.2.1. Ensaio de tração.

O ensaio de tração consiste em fixar as extremidades do corpo de prova nas garras da máquina de ensaio e submeter a barra metálica a uma carga de tração, paulatinamente crescente, sofrendo uma deformação progressiva de extensão (CHIAVERINI, 1986). Este tipo de ensaio, geralmente, é realizado em uma máquina de ensaio universal. O NMC/UFS

possui uma máquina universal capaz de realizar ensaios de tração numa chapa de $\frac{1}{4}$ " de espessura, a qual é apresentada na Figura 8.



Figura 8 - Máquina de ensaio universal durante ensaio de tração.

Durante este ensaio, é produzido um gráfico de tensão x deformação onde podemos detectar propriedades mecânicas do material, tais como módulo de elasticidade, tensão de escoamento, limite de resistência à tração, entre outras características. O Limite de Resistência à Tração (LRT), apresentado em um gráfico teórico tensão x deformação na Figura 9, indicado como o ponto "M", é o ponto máximo de carga atingida durante um esforço, sendo que se este for mantido, o resultado será a fratura do material.

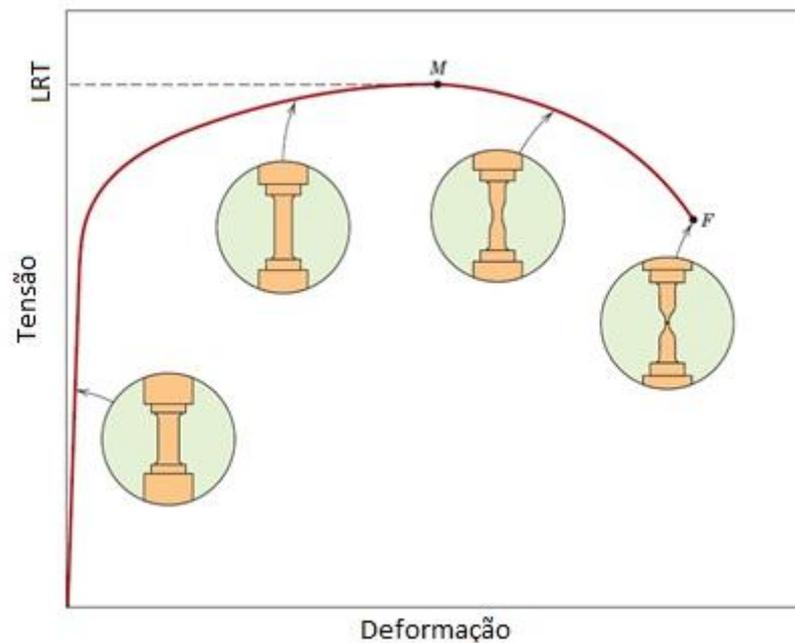


Figura 9 - Limite de resistência à tração, M. (CALLISTER, 2009).

4.2.2.2. Ensaio de dobramento.

O ensaio de dobramento pode ser classificado em dois tipos: livre ou semiguiado. O ensaio de dobramento livre é obtido pela aplicação de força nas extremidades do corpo de prova, enquanto que o ensaio de dobramento semiguiado ocorre em uma determinada região (aonde estiver posicionado o cutelo).

O ensaio de dobramento consiste em submeter barras a uma carga de flexão, paulatinamente crescente, sofrendo um dobramento com o intuito de verificar, qualitativamente, a ductilidade do material ou a perda de ductilidade devido à consequência de determinados tratamentos térmicos ou mecânicos, como por exemplo a soldagem. As principais variáveis deste ensaio, para dobramento de chapas, são:

- Espessura da chapa;
- Diâmetro do cutelo;
- Ângulo de dobramento;
- Comprimento e largura do corpo de prova.

A Figura 10 apresenta o esquema do processo de dobramento para um ensaio de dobramento guiado, enquanto que a Figura 11 apresenta o ângulo de dobramento, conforme NBR 6153.

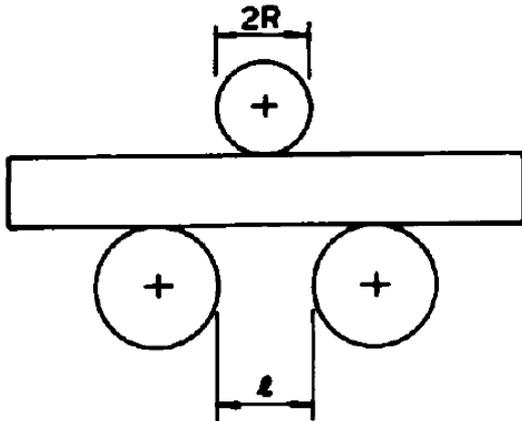


Figura 10 - Processo de dobramento (NBR 6153, 1988).

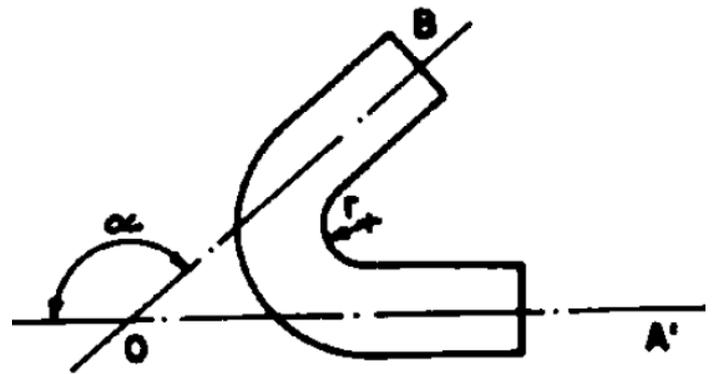


Figura 11 - Ângulo de dobramento (α) (NBR 6153, 1988).

Um ensaio de dobramento, realizado numa máquina de ensaio universal no NMC/UFS, com $\alpha = 90^\circ$ para uma chapa com espessura de $3/16''$ (4,75 mm) é mostrado na Figura 12.



Figura 12 - Máquina de Ensaio Universal durante ensaio de dobramento (90°).

4.3. Qualificação do Procedimento de Soldagem.

De acordo com a ASME S. IX, parágrafo QW-200.1, a EPS é um procedimento de soldagem, escrito e qualificado, preparado para fornecer instruções referentes à execução de soldas de produção que estejam de acordo com os requisitos do Código, deve referenciar o RQPS e descrever todas as variáveis essenciais, não essenciais e essenciais suplementares. As variáveis não essenciais de uma EPS podem ser modificadas, a fim de serem adaptadas aos requisitos de produção, sem ser necessária a requalificação da EPS. De acordo com QW-203, a qualificação de um procedimento de soldagem em qualquer posição qualifica o procedimento para todas as posições.

A qualificação da EPS para as soldas em chanfro deve ser efetuada em soldas de chanfro, respeitando QW-451, conforme QW-202.2.a. De acordo com QW-202.2.c. a qualificação da EPS (exceto para metais P-N.º11, excluindo dessa exceção os metais P-N.º 11ª – grupos N.ºs 1 e 2) para as soldas em ângulo pode ser efetuada em peças para testes de solda em chanfro, usando os corpos de prova para a qualificação em soldas em chanfro; os procedimentos de soldas em ângulo qualificados desta forma podem ser utilizados para a soldagem de todas as espessuras de metal de base, para todos os diâmetros de tubos, de conformidade com QW-451.4, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Soldas em ângulo qualificadas por soldas em chanfros (ASME S. IX, 2010).
QW-451.4

SOLDAS EM ÂNGULO QUALIFICADAS POR TESTES EM JUNTAS COM CHANFRO		
Espessura T do metal base (chapa ou tubo) como soldado	Faixa qualificada	Tipo e quantidade de testes requeridos
Todos os testes em chanfros	Todas as dimensões de cordões do metal de base e todos os diâmetros	As soldas em ângulo são qualificadas quando a qualificação das soldas em chanfro for obtida de acordo com QW-451.1 ou QW-451.2

No processo de qualificação de um procedimento de soldagem é necessária a elaboração de uma EPS inicial, contendo todas as informações necessárias para realização da soldagem, como: especificação de chanfro, passes de solda, metal de base, metal de adição, entre outras variáveis. Esta EPS inicial será executada na prática com o auxílio de um soldador experiente da própria empresa, obedecendo às informações contidas neste documento e os corpos-de-prova extraídos serão avaliados por meio de ensaios não destrutivos e destrutivos, dando origem a um documento que conterá todas essas

informações registradas, o RQPS. Caso o RQPS seja aprovado, conseqüentemente, a EPS utilizada estará automaticamente aprovada.

Com um RQPS aprovado, é possível a criação de diversas EPS's, contanto que se respeitem as variáveis essenciais, essenciais suplementares e variáveis não essenciais. Estas variáveis, para o processo de soldagem por eletrodo revestido, são apresentadas na Tabela 4 conforme QW-253, sendo perceptível a importância do metal de base, do eletrodo e dos tratamentos térmicos nas variáveis essenciais. De acordo com a ASME, variáveis essenciais são aquelas nas quais uma mudança é considerada como alteradora das propriedades mecânicas da peça soldada e, portanto, requer a requalificação da EPS; variáveis essenciais suplementares são aquelas nas quais uma mudança é considerada como alteradora das propriedades mecânicas da peça soldada para os tipos de metais sujeitos aos testes de resistência ao impacto; variáveis não essenciais são aquelas nas quais uma mudança pode ser introduzida na EPS sem a exigência da requalificação da EPS.

De acordo com QW-200.2, o RQPS é um registro dos dados de soldagem utilizados para a soldagem dos materiais de teste e dos resultados obtidos nos testes dos corpos de provas, documentando assim, todas as variáveis essenciais, essenciais suplementares e variáveis não essenciais, relacionadas em QW-253, para o processo de soldagem utilizando eletrodo revestido. A correta certificação do mesmo é de competência do fabricante e todas as mudanças de um RQPS requerem a sua recertificação pelo fabricante.

Utilizando a Tabela 5 é possível determinar a faixa de espessura do metal de base e a espessura máxima do metal de adição a serem certificadas, tendo como base a espessura do metal de base do corpo de prova utilizado para o teste, conforme QW-451.1. É notável que uma chapa de $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm) abrange uma larga faixa de valores, correspondente a $\frac{3}{16}$ " – 1" (4,8 mm – 25,4 mm) o que corresponde a maioria das espessuras utilizadas industrialmente, porém, a espessura de chapa estudada neste trabalho foi de $\frac{1}{4}$ ". Tal decisão foi determinada devido a uma possível solicitação excessiva no cutelo no caso de um ensaio com chapa de $\frac{1}{2}$ " de espessura, portanto, para evitar riscos foi decidido a utilização de uma chapa com espessura de $\frac{1}{4}$ ".

Tabela 4 - Variáveis para o procedimento de soldagem SMAW (ASME S. IX, 2010).

QW-253				
Variáveis para as Especificações dos Procedimentos de Soldagem				
Soldagem a Arco Metálico com Eletrodo Revestido (SAMR)				
Parágrafo		Essenciais	Essenciais sup.	Não essenciais
QW-402 Juntas	.1			X
	.4			X
	.10			X
	.11			X
QW-403 Metais de base	.5		X	
	.6		X	
	.8	X		
	.9	X		
	.11	X		
QW-404 Metais de adição	.4	X		
	.5	X		
	.6			X
	.7		X	
	.12		X	
	.30	X		
QW-405 Posições	.33			X
	.1			X
	.2		X	
QW-406 Pré-aquecimento	.3			X
	.1	X		
	.2			X
QW-407 Trat. Térm. após soldagem	.3		X	
	.1	X		
	.4	X		
QW-409 Características Elétricas	.1		X	
	.4		X	X
	.8			X
QW-401 Técnica	.1			X
	.5			X
	.6			X
	.9		X	X
	.25			X
	.26			X
	.64		X	

Tabela 5 - Limites de espessuras, tipos e quantidades de testes para qualificação do procedimento de soldagem (ASME S. IX, 2010).

QW-451.1

ENSAIOS DE TRAÇÃO E DE DOBRAMENTO PARA JUNTAS SOLDADAS

Espessura T do metal de base soldado para testes, pol (mm)	Faixa de espessuras de metal de base qualificas, pol. (mm)		Espessura maxima t de metal de solda qualificada, pol, in. (mm)	Tipo e quantidade de testes requeridos (Tração e dobramento guiado)			
	Min.	Max.		Tração, QW-150	Dobramento lateral, QW-160	Dobramento de face, QW-160	Dobramento de raiz, QW-160
Menor que 1/16 (1,5)	T	2 T	2 t	2	...	2	2
1/16 a 3/8 (1,5 a 10), incl.	1/16 (1,5)	2 T	2 t	2	...	2	2
Acima de 3/8 (10), porém menor que 3/4 (19)	3/16 (5)	2 T	2 t	2	...	2	2
3/4 (19) a 1½ (38)	3/16 (5)	2 T	2 t quando $t < \frac{3}{4}$ (19)	2	4	...	...
3/4 (19) a 1½ (38)	3/16 (5)	2 T	2 T quando $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2	4	...	...
1½ (38) a 6 (150), incl.	3/16 (5)	8 (200)	2 t quando $t < \frac{3}{4}$ (19)	2	4	...	...
1½ (38) a 6 (150), incl.	3/16 (5)	8 (200)	8 (200) quando $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2	4	...	...
Acima de 6 (150)	3/16 (5)	1,33 T	2 t quando $t < \frac{3}{4}$ (19)	2	4	...	...
Acima de 6 (150)	3/16 (5)	1,33 T	1,33 T quando $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2	4	...	...

A EPS e o RQPS foram elaborados em partes que estão nos itens a seguir. Com os dados contidos nestes itens, é possível a elaboração destes documentos, que são apresentados nos Apêndices A, B, C, D e E deste trabalho.

4.4. Qualificação dos soldadores.

De acordo com QW-301.2, cada fabricante ou contratante deve qualificar cada soldador para cada processo de soldagem a ser empregado na sua fabricação ou montagem. De acordo com QW-301.4 o registro dos testes de qualificação de desempenho do soldador deve conter as variáveis essenciais, os tipos e resultados dos testes, e os limites qualificados de espessura depositada de acordo com QW-452.1 (a) e QW-452.1 (b), apresentados, respectivamente, na Tabela 6 e Tabela 7. Para o soldador, a variável essencial é aquela que afete a habilidade do soldador quanto à deposição de metal de solda sem defeitos.

O exame radiográfico pode substituir os testes mecânicos para a qualificação de desempenho em soldas de juntas chanfradas para provar a habilidade dos soldadores quanto à execução de soldas de boa qualidade. O autor deste trabalho optou por utilizar o ensaio de dobramento para o teste de qualificação de soldadores por motivos econômicos. Os testes de qualificação de soldadores foram realizados com três soldadores experientes de uma indústria do setor metal mecânico da cidade de Aracaju/SE. Os soldadores que participaram deste estudo tiveram conhecimento que estavam sendo analisados de forma didática e todos os três possuem ensino médio completo.

O metal de base utilizado nos testes de qualificação dos soldadores foi o mesmo para a qualificação do procedimento de soldagem, portanto, a faixa de qualificação do soldador, caso o mesmo seja aprovado, será de até 12,7 mm, conforme QW-452.1 (b).

Tabela 6 - Tipos e quantidade de testes para RTQS (ASME S. IX, 2010)

QW-452.1 (a)				
TESTES DOS CORPOS DE PROVAS				
Espessura do metal de solda, pol. (mm)	Tipo e quantidade de ensaios de mecânicos e de inspeção Type and Number of Examinations and Test Specimens Required			
	Inspeção Visual QW-302.4	Dobramento Lateral QW-462.2	Dobramento de Face QW-462.3(a) or QW-462.3(b)	Dobramento de Raiz QW-462.3(a) or QW-462.3(b)
Menor que 3/8 (10)	X	...	1	1
3/8 (10) a 3/4 (19)	X	2	...	...
3/4 (19) e acima	X	2	...	...

Tabela 7 - Limites de espessura de metal depositado para RTQS (ASME S. IX, 2010)

QW-452.1 (b)	
ESPESSURA DO METAL DE SOLDA QUALIFICADO	
Espessura, t, do metal de solda no metal de base, pol (mm)	Espessura do metal de solda qualificado
Menor que 1/2 (13)	2 t
1/2 (13) e acima	Máxima a ser soldada

A Tabela 8 informa os limites de qualificação de cada posição testada, conforme QW-461.9. Com a finalidade de qualificar os soldadores para todas as posições, tanto para soldas com chanfro como para soldas em filete, os testes de qualificação ocorreram nas posições 2G, 3G e 4G.

Tabela 8 - Limites de qualificação de cada posição testada (ASME S. IX, 2010).

QW-461.9				
QUALIFICAÇÃO DE DESEMPENHO – LIMITAÇÕES DAS POSIÇÕES E DIÂMETROS				
(Dentro das outras limitações indicadas em QW-303)				
Teste de Qualificação		Posição e Tipo de Solda Qualificada		
		Solda em Chanfro		Solda em Ângulo
Solda	Posição	Chapas e Tubos Com D.E acima de 24 pol. (610 mm).	Tubo com D.E.< 24 pol. (610 mm)	Chapas e Tubos
Chapas – Chanfro	1G	F	F	F
	2G	F, H	F, H	F, H
	3G	F, V	F	F, H, V
	4G	F, O	F	F, H, O
	3G and 4G	F, V, O	F	All
	2G, 3G and 4G	All	F, H	All
	Posição Especial (PE)	PE, F	PE, F	PE, F
Chapas – Ângulo	1F	...	...	F
	2F	...	...	F, H
	3F	...	...	F, H, V
	4F	...	...	F, H, O
	3F and 4F	...	...	All
	Posição Especial (PE)	...	...	PE, F
Tubos - Chanfro	1G	F	F	F
	2G	F, H	F, H	F, H
	5G	F, V, O	F, V, O	All
	6G	All	All	All
	2G and 5G	All	All	All
	Posição Especial (PE)	PE, F	PE, F	PE, F
Tubos - Ângulo	1F	...	...	F
	2F	...	...	F, H
	2FR	...	...	F, H
	4F	...	...	F, H, O
	5F	...	...	All
	Posição Especial (PE)	...	...	PE, F

Legenda:

F = Topo
posições

H = Horizontal

V = Vertical

O = Sobre-cabeça

All = Todas

A qualificação de um procedimento de soldagem qualifica também o soldador para a posição testada, conforme QW-301.2. De acordo com QW-306, três ou mais soldadores podem ser qualificados, de forma conjugada, em uma única peça para testes, porém é necessário que o corpo de prova tenha pelo menos ½" (12,7 mm). Como o corpo de prova utilizado não atende a essa especificação, para qualificar a quantidade de soldadores deste trabalho, foram utilizados corpos de prova individuais. Esta afirmação deste Código é bastante utilizado na qualificação de desempenho de soldadores na prática industrial por motivos de economia de recursos e por conveniência.

As qualificações de desempenho de um soldador devem ser renovadas nas seguintes condições, conforme QW-322:

- Quando o soldador não tiver efetuado soldagens com um determinado tipo de processo de soldagem, durante um período igual ou superior a 3 meses, após este período a qualificação dele é considerada expirada, exceto se o indivíduo estiver soldando com outro processo de soldagem, quando então o período se estende para 6 meses de duração.
- Quando a habilidade de produção de soldas pelo profissional esteja sendo questionada referente ao atendimento das especificações deste Código.

As variáveis essenciais para o soldador são apresentadas na Tabela 9. Qualquer modificação em um desses itens exige a requalificação do soldador para um determinado procedimento de soldagem.

Tabela 9 - Variáveis essenciais para soldadores, ASME (ASME S. IX, 2010).

QW-353 Soldagem a Arco Metálico com Eletrodo Revestido (SAMR) Variáveis Essenciais		
Parágrafo		Variáveis
QW-402 Juntas	.4	- Cobrejunta
QW-403 Metal de Base	.16	Θ Diâmetro do tubo
	.18	Θ N°. P
QW-404 Metal de Adição	.15	Θ N°. F
	.30	Θ Solda depositada t
QW-405 Posições	.1	+ Posição
	.3	Θ ↑ ↓ Soldagem Vertical

Legenda:

+ Adição	↑ Ascendente	Θ Modificação
- Subtração	↓ Descendente	

Os RTQS's nas posições 2G, 3G e 4G são apresentados, respectivamente, no Apêndice F, G e H. Tais documentos foram elaborados em partes que estão nos itens a seguir.

5. Materiais utilizados.

5.1. Qualificação do procedimento de soldagem.

5.1.1. Metal de base.

Os metais de base podem ser tubos, chapas ou outras formas de material e a qualificação em chapa também qualifica para tubos e vice-versa, conforme QW-210. O metal de base utilizado na qualificação do procedimento de soldagem foi uma chapa de classificação ASTM A-36, espessura de ¼" (6,35 mm) nas dimensões 254 x 311 mm. O Código da ASME faz um agrupamento de metais de base para qualificação e, de acordo com este, o aço carbono ASTM A-36 se agrupa no grupo n°1 e P. n°1, conforme é mostrado na Tabela 10. As propriedades mecânicas do aço carbono ASTM A-36 estão na Tabela 11, sendo que tais valores foram retirados tanto da literatura de Callister (2009) como do próprio fornecedor da chapa de aço.

Tabela 10 - Agrupamento de metais de base (ASME S. IX, 2010).

QW/QB-422 FERROSOS/NÃO FERROSOS N°. P									
Agrupamento dos Metais de Base para Qualificação									
Ferrous									
Spec. N°.	Grau	UNS N°.	Tensão Mínima Especificada, ksi (Mpa)	Soldagem		Brasagem	ISO 15608 Group	Composição Nominal	Forma de Produto
				N°. P	N° G.	P-N°.			
SA-36	...	K02600	58 (400)	1	1	101	11.1	C-Mn-SI	Chapas, barras & formas
SA-53	Tipo F	...	48 (330)	1	1	101	11.1	C	Tubos de condução
SA-53	Tipo E, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1	101	11.1	C	Tubo soldado por resist. Elet.
SA-53	Tipo E, Gr. B	K03005	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Mn	Tubo soldado por resist. Elet.
SA-105	...	K03504	70 (485)	1	2	101	11.1	C	Tubo
SA-106	A	K02501	48 (330)	1	1	101	1.1	C-SI	Tubo

Tabela 11 - Propriedades mecânicas do aço carbono ASTM A-36.

Classificação	Limite de elasticidade (GPa)	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
ASTM A-36	207	220 a 250	400 a 500	23

A utilização de um metal de base P.nº. 1, que é o caso do aço ASTM A-36, qualifica a utilização de metais de base P.nº. de 1 até 15F, 34 e de 41 até 49, conforme faixa de substituição de metal de base em QW-423.1, apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Metais de base alternativos permitidos (ASME S. IX, 2010).

QW-423.1

Materiais de Base Alternativos para a Qualificação de Soldadores

Metais de base para a qualificação de soldador	Metais de base qualificados
P-Nº. 1 a P-Nº. 15F, P-Nº. 34, e P-Nº. 41 a P-Nº. 49	P-Nº. 1 a P-Nº. 15F, P-Nº. 34, e P-Nº. 41 a P-Nº. 49
P-Nº. 21 a P-Nº. 26	P-Nº. 21 a P-Nº. 26
P-Nº. 51 a P-Nº. 53 ou P-Nº. 61 e P-Nº. 62	P-Nº. 51 a P-Nº. 53 e P-Nº. 61 e P-Nº. 62

Os corpos de prova de tração e de dobramento, exigidos em QW-451.1, têm organização ilustrada pelo QW-463.1(a). Esta ilustração foi obedecida durante a marcação para corte da chapa para qualificação de procedimento de soldagem empregado neste trabalho, cujas dimensões são apresentadas na Figura 13, tanto para os corpos de prova de dobramento como de tração. A hachura utilizada é para informar o material que será descartado, após o corte, para obtenção dos corpos de prova.

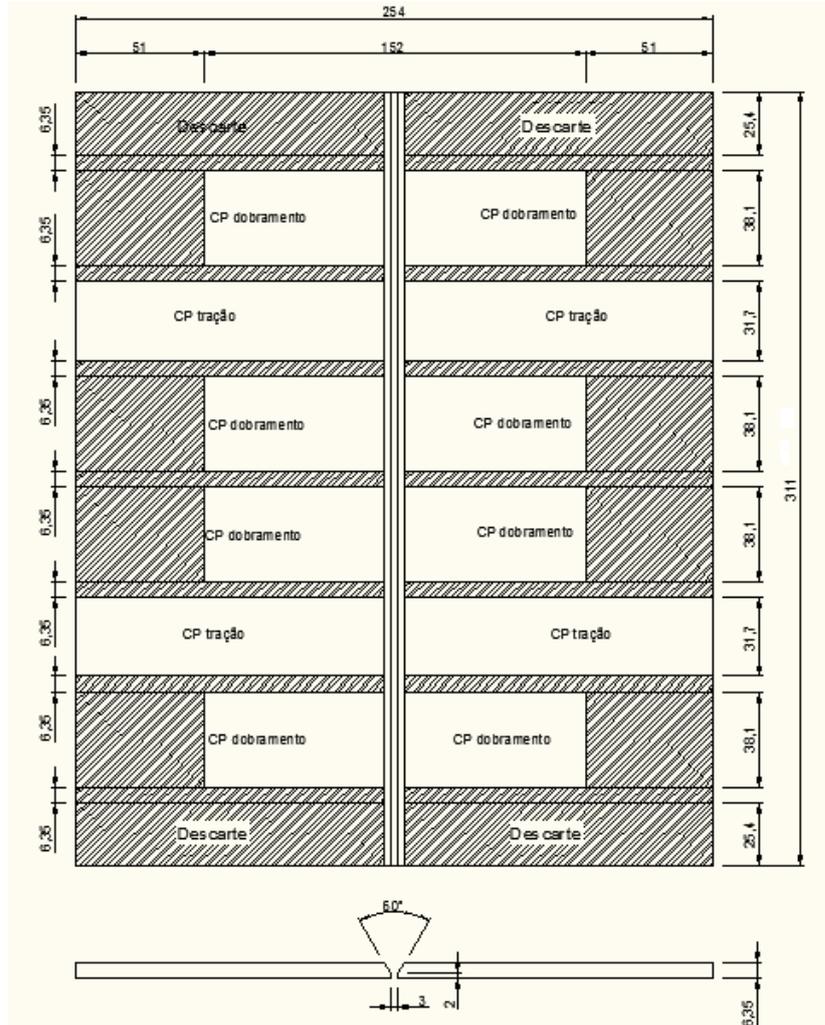


Figura 13 - Chapa utilizada para qualificação do procedimento de soldagem.

Os limites do chanfro utilizado no procedimento de soldagem são apresentados pela Figura 14, conforme QW-469.2.

QW-469.2 ALTERNATIVE BUTT JOINT

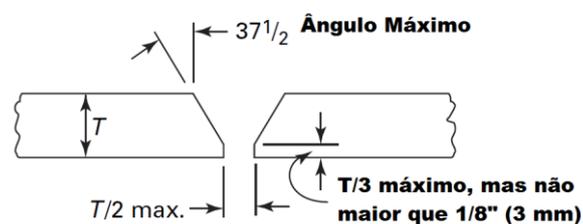


Figura 14 – Limites de chanfro (ASME S. IX, 2010).

Após os ensaios não destrutivos, e aprovação dos mesmos, as chapas foram cortadas nas áreas apropriadas para este fim e o reforço de solda foi lixado com o objetivo de obter faces planas e, aproximadamente, paralelas na região da solda, porém com o cuidado de não remover excessivamente.

5.1.2. Metal de adição.

Os eletrodos utilizados para o teste de qualificação do procedimento de soldagem foram:

- E-6010 com 2,5 mm de diâmetro para o passe raiz.
- E-7018 com 3,25 mm de diâmetro para o enchimento.

Com os dados acima; a Tabela 13, que relaciona a classificação dos eletrodos pela AWS com a especificação dos eletrodos pela ASME; e informações do próprio fabricante é possível a construção da Tabela 14 que contém as informações dos eletrodos utilizados.

Tabela 13 - Classificação AWS e especificação ASME, eletrodos (ASME S. IX, 2010).

QW-432		
Nº F.		
Agrupamento de Eletrodos, Varetas e Arames de Soldagem para Qualificação		
Nº F.	Especificação ASME	Classificação AWS
1	SFA-5.1	EXX20
1	SFA-5.1	EXX22
1	SFA-5.1	EXX24
1	SFA-5.1	EXX27
1	SFA-5.1	EXX28
1	SFA-5.4	EXXX(X)-26
1	SFA-5.5	EXX20-X
1	SFA-5.5	EXX27-X
2	SFA-5.1	EXX12
2	SFA-5.1	EXX13
2	SFA-5.1	EXX14
2	SFA-5.1	EXX19
2	SFA-5.5	E(X)XX13-X
3	SFA-5.1	EXX10
3	SFA-5.1	EXX11
3	SFA-5.5	E(X)XX10-X
3	SFA-5.5	E(X)XX11-X
4	SFA-5.1	EXX15
4	SFA-5.1	EXX16
4	SFA-5.1	EXX18
4	SFA-5.1	EXX18M
4	SFA-5.1	EXX48

Tabela 14 - Eletrodos utilizados no RQPS.

Passe	Classificação AWS	Diâmetro do eletrodo (mm)	Especificação ASME	F-nº	Marca Comercial / Fabricante	Limite de Resistência (MPa)
Raiz	E-6010	2,5	SFA-5.1	3	OK 22.45 P / ESAB	470 a 500
Enchimento	E-7018	3,25	SFA-5.1	4	OK 48.04 / ESAB	530 a 590

As faixas de valores dos limites de resistência de cada eletrodo foram retiradas do catálogo do próprio fabricante. Em QW-433, apresentado na Tabela 15, são apresentadas faixas de qualificação de eletrodos, para o uso de determinado soldador, de acordo com o eletrodo que o mesmo utilizou no teste de qualificação.

5.2. Qualificação dos soldadores.

5.2.1. Metal de base.

O metal de base utilizado na qualificação do desempenho de cada soldador foi uma chapa de classificação ASTM A-36, espessura de $\frac{1}{4}$ " (6,35 mm) nas dimensões 152 x 146 mm.

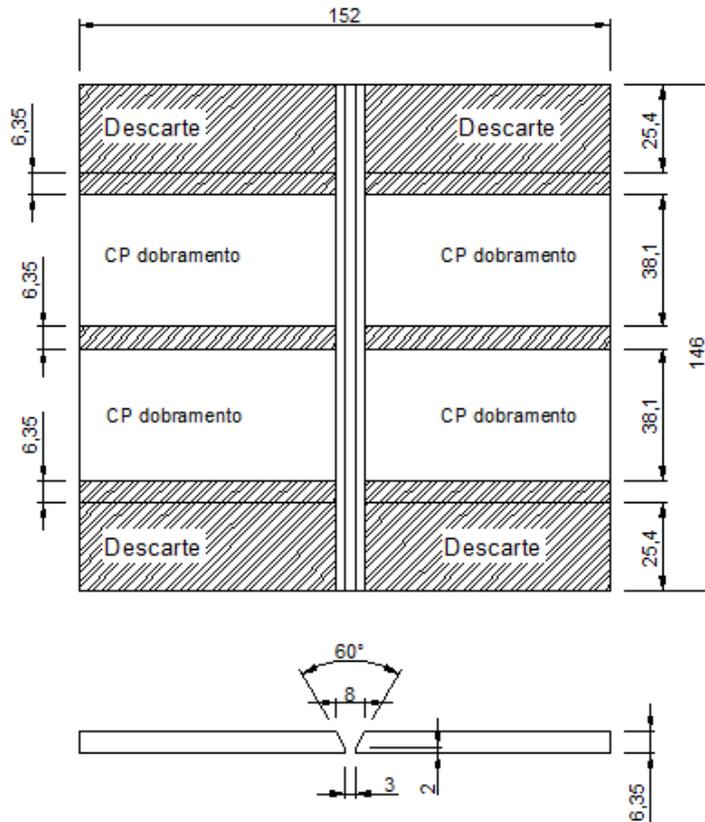


Figura 15 - Dimensões da chapa utilizada para RTQS.

A organização, ilustrada em QW 463.2(a), dos corpos de provas de dobramento na chapa para qualificação de desempenho de cada soldador, conforme solicitado em QW-452.1 (a), foi obedecida e as dimensões dos corpos de provas (CP's) de dobramento para a qualificação de desempenho de cada soldador são apresentadas na Figura 15.

5.2.2. Metal de adição.

Os eletrodos utilizados para o teste de qualificação do soldador foram os mesmos classificados pelo teste de qualificação do procedimento de soldagem: E-6010 com 2,5 mm de diâmetro para o passe raiz e E-7018 com 3.25 mm de diâmetro para o enchimento.

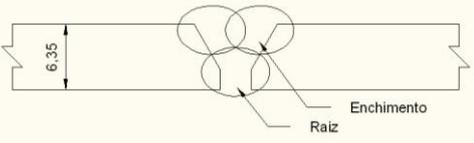
6. Resultados e discussões.

6.1. Qualificação do procedimento de soldagem.

6.1.1. Parâmetros de soldagem registrados.

Os parâmetros de soldagem registrados durante a soldagem de chapas para a qualificação do procedimento de soldagem foram: posição de soldagem, gás de proteção (arco e raiz), temperaturas (pré-aquecimento, interpasse, pós-aquecimento), limpeza (inicial e interpasses), seqüência dos passes, técnica operatória, características elétricas (corrente, tensão, entre outras), ferramentas e equipamentos utilizados. Tais dados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Parâmetros de soldagem registrados, RQPS.

Seqüência de passes		Gás de proteção do arco de soldagem		
		Tipo:	Sem necessidade	
		Composição:		
		Vazão:		
Temperaturas		Gás de proteção da raiz		
Pré-aquecimento:	30°C	Tipo:	Sem necessidade	
Interpasse:	Máxima de 231°C	Composição:		
Pós-aquecimento:	Sem necessidade	Vazão:		
Posição de soldagem		Ferramentas e Equipamentos		
Posição:	2 G	Máquina de soldagem por eletrodo revestido da ESAB		
Limpeza		Escova rotativa para aço carbono		
Inicial:	Escovamento	Picadeira		
Interpasses	Escovamento / Picadeira	Termômetro infravermelho		
Técnica operatória de soldagem				
Passo	Eletrodo	Tecimento	Amplitude da oscilação (mm)	Velocidade (cm/min)
Raiz	E-6010	Oscilante	2 a 5	15,45
Enchimento	E-7018	Oscilante	4 a 8	18,82
Características elétricas				
Passo	Diâmetro do eletrodo (mm)	Tipo de corrente/polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)
Raiz	2,5	CC / +	73 a 80	20 a 22
Enchimento	3,25	CC / +	124 a 133	26 a 29

As características elétricas apresentadas na Tabela 16 estão dentro de faixas típicas de parâmetros elétricos de operação para eletrodos revestido, apresentando, para o eletrodo E-6010 de diâmetro 2,5 mm, uma faixa de corrente aplicável de 60 a 100 A e uma faixa de tensão aplicável de 18 – 28 V e, para o eletrodo E-7018 de diâmetro 3,25 mm uma faixa de corrente aplicável de 110 – 150 A e com uma faixa de tensão aplicável de 20 a 30 V (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

6.1.2. Ensaios não-destrutivos (END's).

Conforme QW-144, o ensaio visual na chapa de teste é necessário para a qualificação do procedimento de soldagem. O líquido penetrante se torna necessário em soldas com metais de base resistentes à corrosão, conforme QW-195.1, obedecendo aos critérios de aceitação de QW-195.2.2. Os ensaios por líquido penetrante foram inseridos neste trabalho a fim de acrescentar mais uma etapa de ensaio não destrutivo com o objetivo de enriquecer a análise, pois este ensaio é de baixo custo, de rápida aplicação e de fácil compreensão. Os procedimentos e critérios de aceitação tanto dos ensaios visuais como dos ensaios por líquido penetrante obedeceram à norma *ASME Section V* tanto para a qualificação do procedimento de soldagem como para os soldadores.

6.1.2.1. Ensaio Visual.

O ensaio visual foi realizado na chapa inteira, apresentada na Figura 16, com o objetivo de detectar possíveis falhas quanto a presença de fissuras superficiais significativas, crateras não preenchidas, falta de fusão, mordeduras, entre outros defeitos. Conforme QW-194, as chapas devem apresentar uma completa fusão do metal de adição e metal de base no local de preenchimento da junta. Não foram detectadas, tanto na face como na raiz, falhas como: garganta insuficiente, mordedura, dobra, perna insuficiente, porosidade, inclusão de escórias, falta de fusão, trincas, entre outras. Portanto, esta chapa foi visualmente aprovada.

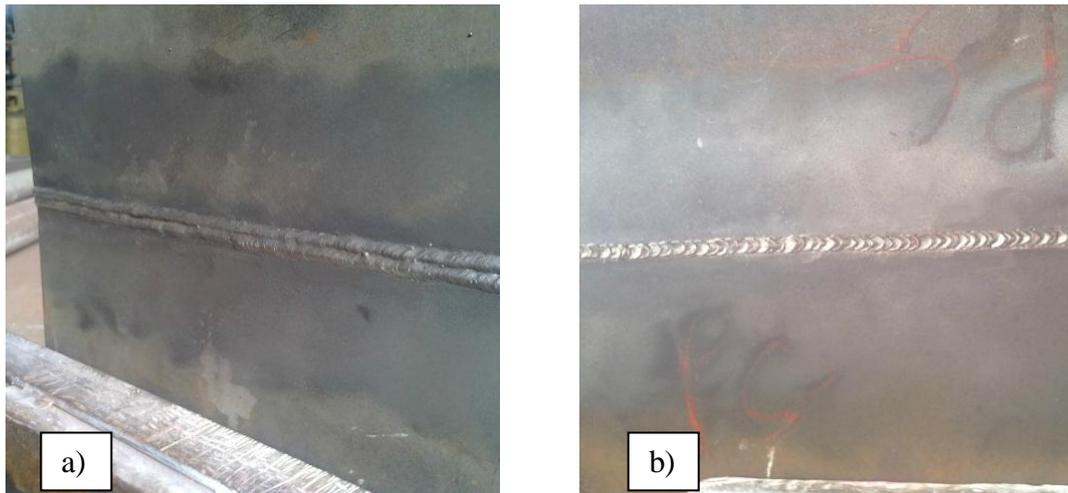


Figura 16 - Ensaio visual da chapa para RQPS: a) face e b) raiz.

A chapa está com aspecto distinto (interior-extremidade) devido à oxidação da mesma e posterior limpeza, na parte interior, com escova rotativa para melhor visualização dos cordões de solda.

6.1.2.2. Ensaio por Líquido Penetrante.

O ensaio por líquido penetrante foi realizado na chapa inteira, após a aprovação do ensaio visual, com o intuito de detectar descontinuidades abertas para a superfície a ser inspecionada, seguindo o procedimento explicado anteriormente. O procedimento de aplicação, tanto do LP como revelador, foi de acordo com a seguinte ordem abaixo:

- Limpeza inicial com o auxílio de uma picadeira, lixadeira ou escova rotativa;
- Limpeza secundária com a aplicação de um pano com solvente;
- Secagem do local, onde fora aplicado o solvente, com um pano seco;
- Aplicação do spray que contém o líquido penetrante;
- Espera de, no mínimo, 10 minutos;
- Remoção do excesso do líquido penetrante com o auxílio de um pano seco;
- Aplicação do revelador de forma a manter uma distância e velocidade adequada;
- Espera de, no mínimo 20 minutos, para que o revelador reaja com o líquido penetrante.

Os critérios de aceitação para o ensaio por líquido penetrante estão em QW-195.2.2., onde os corpos de provas serão considerados inaceitáveis, quando indicarem:

- Falhas lineares relevantes.

- Falhas relevantes, aproximadamente, circulares, com diâmetro maior que 3/16" (4,8 mm).
- Quatro ou mais falhas relevantes, aproximadamente, circulares pertencentes a uma linha, separadas por 1/16" (1,6 mm) de ponta a ponta.

A aplicação do líquido penetrante na chapa de RQPS é mostrado na Figura 17, enquanto que a aplicação do revelador é mostrado na Figura 18.

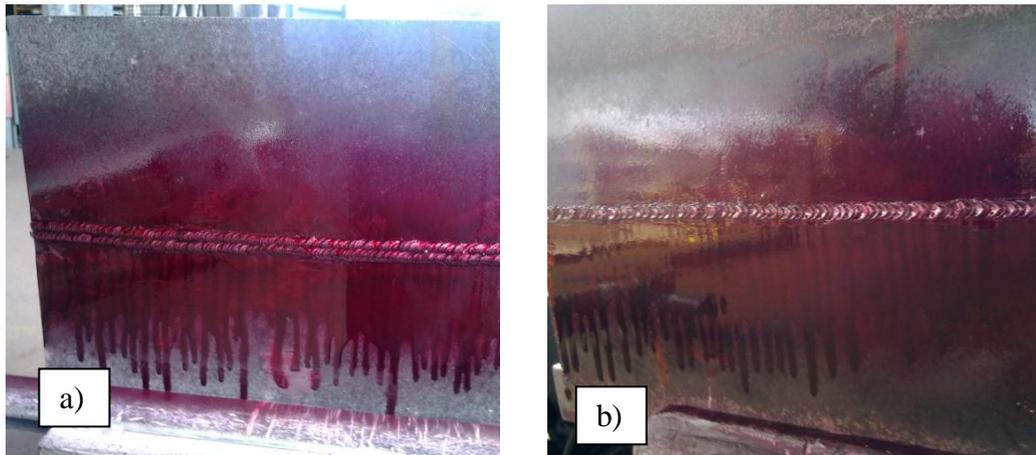


Figura 17 - Ensaio por líquido penetrante para RQPS, LP: a) Face e b) Raiz.

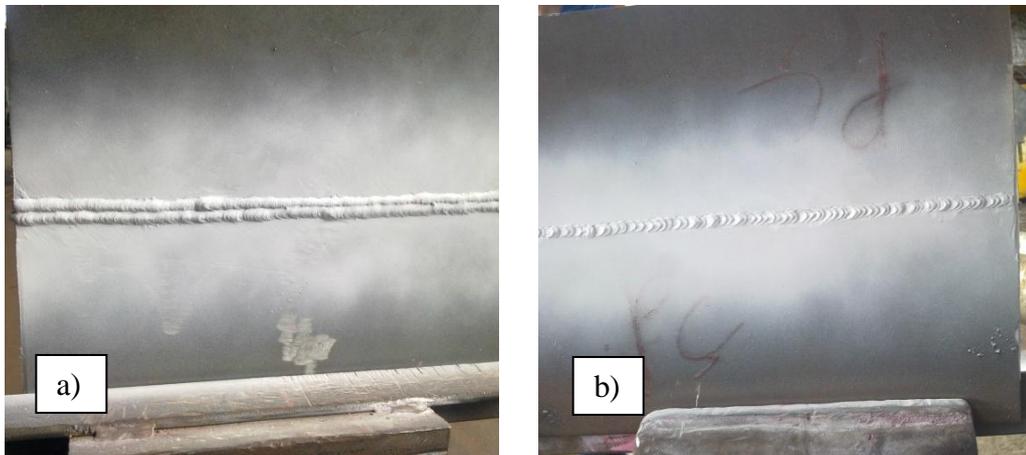


Figura 18 - Ensaio por líquido penetrante para RQPS, Revelador: a) Face e b) Raiz.

Como é notável, pela ausência de manchas vermelhas nas superfícies do material, não foram detectadas não conformidades tanto na face quanto na raiz desta solda.

6.1.3. Ensaio destrutivos.

Para que um procedimento de soldagem seja qualificado, é necessária a análise do comportamento do material e da solda através de testes destrutivos normatizados e, para realizá-los na chapa de 1/4" de espessura, são necessários 2 corpos de prova para os

ensaios de tração e 4 para os ensaios de dobramento, sendo 2 para dobramento de face e 2 para dobramento de raiz, de acordo com QW-451.1.

6.1.3.1. Ensaio de Tração.

As dimensões dos corpos de prova de tração seguiram às exigências de QW-462.1.a, e são apresentadas na Figura 19. O projeto para a fabricação de 2 corpos de prova, conforme exigido para o RQPS, foi impresso em escala real (1:1) para ser utilizado como gabarito durante o corte da chapa para realização dos mesmos, ocasionando um desvio médio dimensional, entre o que foi projetado e o que foi fabricado, praticamente desprezível. A distorção ocorrida devida à soldagem foi desprezada devido ao seu baixo valor.

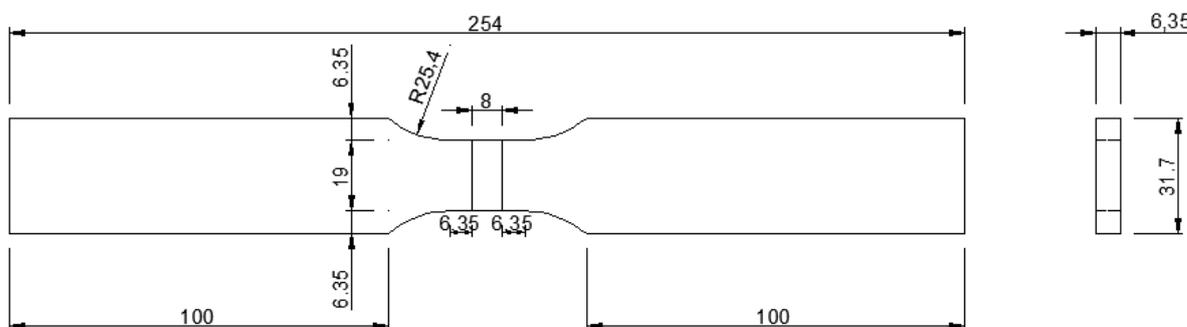


Figura 19 - Dimensões do corpo de prova de tração projetado.

Segundo QW-152, o corpo de prova deve ser rompido sob carga de tração axial, calculando a resistência à tração dividindo-se a carga de ruptura pela área de menor seção transversal do corpo de prova, medida antes da aplicação da carga. Ambos corpos de prova de tração foram ensaiados, individualmente, em uma máquina universal de ensaios, capaz de realizar ensaios de tração, da Marca Time Group, modelo WSW-100E, classe 1 e serial n.º 354, localizada em um dos laboratórios do NMC/UFS. Estes ensaios geraram gráficos de Força (kN) x Deslocamento (mm), que são apresentados nas Figuras 20 e 21 para os corpos de prova de tração 01 e 02, respectivamente. Ambos corpos de provas foram rompidos fora da região da solda e a força máxima exercida nos corpos de prova de tração 01 e 02 foram, respectivamente, 50,28 kN e 53,32 kN. Esta diferença pode ser explicada por diversas razões, tais como: não homogeneidade do metal de base e/ou do metal de adição, variações na corrente e/ou na tensão de soldagem, variação angular da posição de soldagem entre outras. O autor acredita que o fator mais provável que tenha ocorrido foi que o soldador tenha efetuado as soldagens com velocidade de soldagem distinta, ocasionando

uma diferença de deposição de energia de soldagem, a qual resultou em uma diferença térmica ao ponto de modificar as propriedades do material.

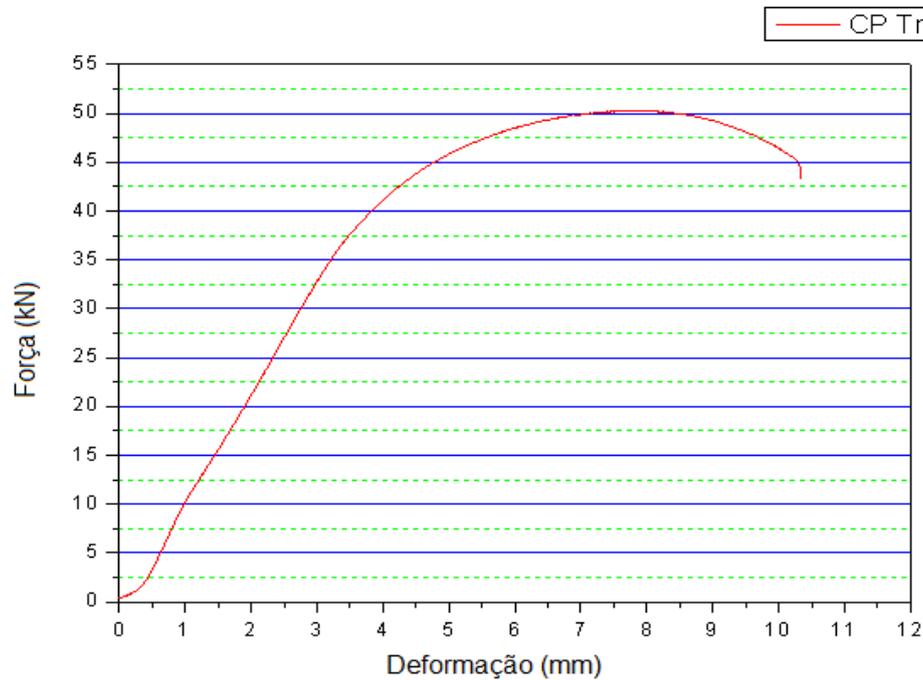


Figura 20 - Gráfico Tensão x Deformação, tração 01.

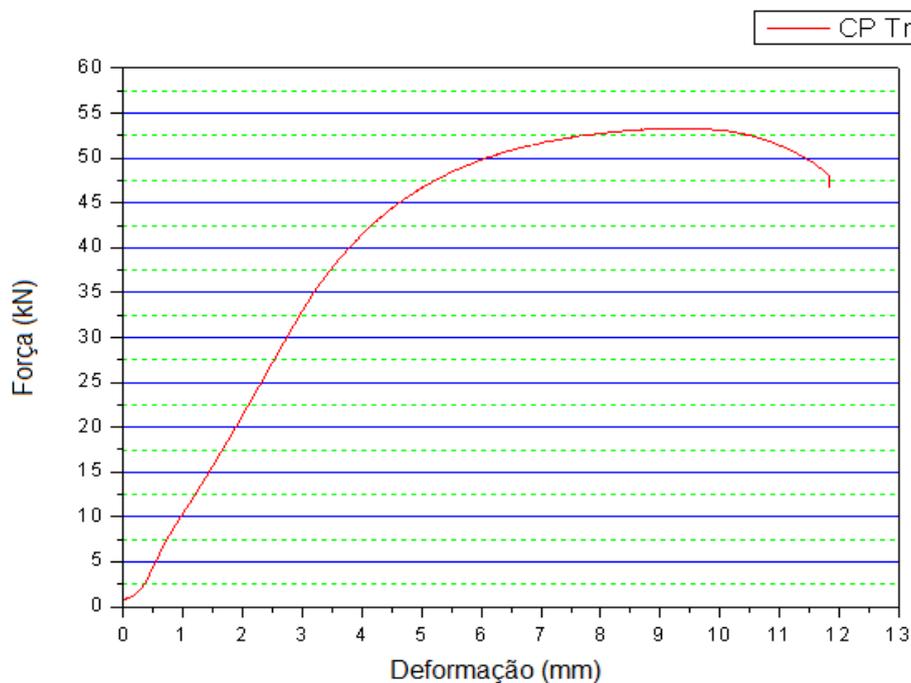


Figura 21 - Gráfico Tensão x Deformação, tração 02.

Os valores das forças aplicadas, limites de resistência a tração e os locais de ruptura de ambos corpos de prova de tração ensaiado são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados dos ensaios de tração, RQPS.

CP's	Dimensões da seção transversal (mm) / Área Transversal (mm ²)	Local de Ruptura	Força Aplicada (kN)	LRT do CP (MPa)
Tração 01	19 x 6,35 / 120,65	Fora da solda	50,28	416,7
Tração 02	19 x 6,35 / 120,65	Fora da solda	53,32	441,9

Os critérios de aceitação do teste de tração, conforme QW-153.1, afirmam que o corpo de prova utilizado neste trabalho tenha uma resistência à tração não menor do que:

- a) O limite mínimo de resistência à tração especificado para o metal de base; ou
- b) O limite mínimo de resistência à tração do menos resistente dos metais de base, no caso de serem usados metais de base de diferentes resistência à tração; ou
- c) O limite mínimo de resistência à tração especificado para o metal de solda, nos casos em que for permitida pela Seção aplicável deste Código, a utilização de um metal de solda com resistência à tração inferior à do metal de base, na temperatura ambiente.
- d) Se o corpo de prova romper no metal base, externamente à solda ou à linha de fusão, o teste deve ser aprovado, desde que a resistência determinada tenha um valor mínimo igual ou superior a 95% da resistência a tração especificada para o metal base.

Foi utilizado apenas um tipo de metal de base com uma determinada resistência à tração, portanto, o item b) pode ser desconsiderado. Como o limite mínimo de resistência à tração especificado para o metal de solda, para todos os eletrodos utilizados neste caso (470 MPa), é maior que o limite mínimo de resistência à tração especificado para o metal de base (400 MPa), na temperatura ambiente, então o item c) não é aplicável. Portanto, o limite de resistência à tração a ser ensaiada no corpo de prova deve corresponder a, no mínimo, ao limite inferior de resistência a tração do metal de base (400 MPa), porém, ambos os corpos de prova romperam externamente à solda, então o valor da resistência à tração deve ser de, no mínimo, 380 MPa. Como os corpos de prova de tração obtiveram limites de resistência a tração superior a 380 MPa, então, ambos foram aprovados.

6.1.3.2. Ensaio de dobramento.

O ensaio de dobramento transversal de face é caracterizado pelo fato da solda ser transversal ao eixo longitudinal do corpo de prova, de forma que a face da solda torna-se a superfície convexa do corpo de prova dobrado, de acordo com QW-161.2, enquanto que o ensaio de dobramento transversal de raiz é caracterizado pelo fato da solda ser transversal

ao eixo longitudinal do corpo de prova, de forma que a raiz da solda torna-se a superfície convexa do corpo de prova dobrado, de acordo com QW-161.3. As dimensões dos corpos de prova fabricados seguiram as medidas determinadas pelo QW-462.3.a, conforme é mostrado na Figura 22. O projeto dos corpos de prova foi impresso em escala real (1:1) para ser utilizado como gabarito durante o corte da chapa para realização dos mesmos, ocasionando um desvio médio dimensional, entre o que foi projetado e o que foi fabricado, praticamente desprezível.

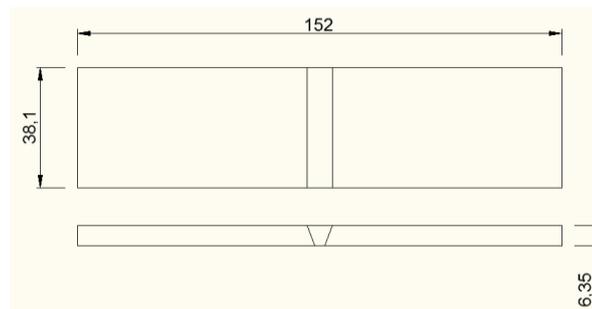
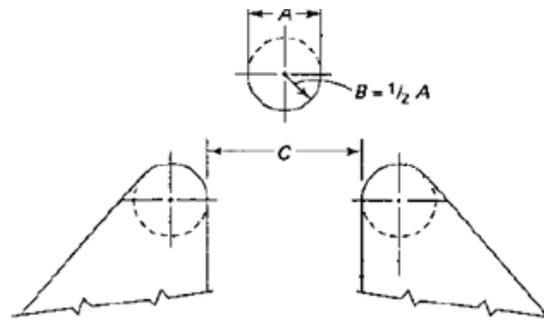


Figura 22 - Dimensões do corpo de prova de dobramento de face e raiz projetado.

Os corpos de prova devem ser dobrados em dispositivos que estejam de acordo com QW-466.2, apresentado na Figura 23, sendo que o lado do corpo de prova voltado em direção da abertura do dispositivo deve ser a face, para os dobramentos de face, ou a raiz para os dobramentos de raiz. Os valores calculados para adequação da máquina de ensaio de dobramento à espessura da chapa a ser utilizada são apresentados na Tabela 18, obedecendo-se a classificação e o alongamento do material.



QW-466.2

Material	Espessura do Corpo de prova, mm	A, mm	B, mm	C, mm
Nº P 21 até Nº P 25; Nº P 35 e qualquer metal Nº P com Nº F 33, 36 ou 37.	3 t = 3 ou menor	52,4 16,5 t	26,2 8,25 t	60,4 18,5t+1,6
Nº P 51 e Nº P 49	10 t = 10 ou menor	76,2 8t	38,1 4t	98,4 10t+3,2
Nº P 52, Nº P 53, Nº P 61 e Nº P 62	10 t = 10 ou menor	95,2 10t	47,6 5t	117,5 12t+3,2
Todos os outros com alongamento igual ou maior que 20%	10 t = 10 ou menor	38,1 4t	19 2t	60,4 6t+3,2

Figura 23– Medidas genéricas do equipamento de dobramento (ASME S. IX, 2010).

Tabela 18- Medidas necessárias do equipamento de dobramento para chapa de aço carbono ASTM A-36 com espessura de ¼".

Material	Espessura (mm)	Diâmetro do cutelo, A (mm)	Raio do cutelo, B (mm)	Distância entre os roletes, C (mm)
ASTM A-36 (P-No. 1)	6,35	25,4	12,7	41,3

Os 4 corpos de prova de dobramento foram classificados como: D 01F e D 03F para os CP's de face e D 02R e D 04R para os CP's de raiz. Todos estes foram ensaiados e são apresentados na Figura 24. Todos os corpos de provas foram avaliados com o auxílio de um paquímetro digital e não apresentaram defeitos superiores a 3,2 mm em qualquer direção, tanto na solda como na Zona Afetada pelo Calor (ZAC). Os resultados dos ensaios de dobramentos são apresentados na Tabela 19.

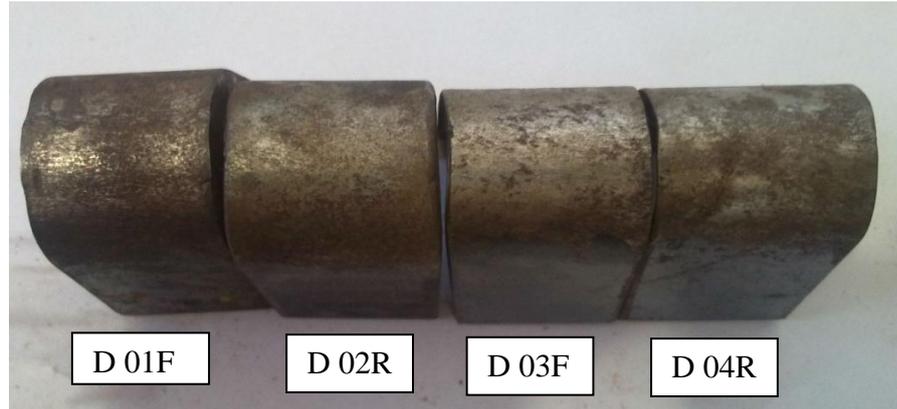


Figura 24 - CP's de dobramentos, ensaiados e aprovados.

Tabela 19 - Resultados dos ensaios de dobramento, RQPS.

CP's	Dimensões dos CP's (mm)	Ângulo de dobramento (°)	Descontinuidades
D 01F	152 x 38,1	180	< 3,2 mm
D 02R	152 x 38,1	180	< 3,2 mm
D 03F	152 x 38,1	180	< 3,2 mm
D 04R	152 x 38,1	180	< 3,2 mm

Para que os critérios de aceitação sejam satisfeitos pela QW-163 é necessário que a solda e a zona afetada pelo calor estejam completamente contidas na parte dobrada do corpo de prova (após o teste) e não devem apresentar defeitos visuais na solda ou na zona afetada pelo calor maiores que 3,2 mm medidos em qualquer direção na superfície convexa do corpo de prova. Na Figura 25 está indicado um exemplo de defeito fora do padrão aceitável pela ASME, não satisfatório.



Figura 25 - Defeito visual > 3,2 mm.

Todos os corpos de prova foram dobrados de forma a conter a solda e a zona afetada pelo calor na região conformada e nenhum dos CP's apresentaram defeitos visuais na solda ou na ZAC superiores a 3,2 mm medidos em qualquer direção. Portanto, todos os corpos de prova da chapa de procedimento de soldagem foram considerados aprovados.

6.2. Qualificação dos soldadores.

6.2.1. Ensaio não destrutivos.

6.2.1.1. Ensaio visual de solda.

Os ensaios visuais foram realizados em todas as chapas de desempenho de cada soldador com o intuito de detectar possíveis falhas quanto à presença de fissuras superficiais significativas, crateras não preenchidas, respingos na região próxima a solda, falta de fusão, mordeduras, entre outros defeitos. De acordo com QW-302.4, todas as superfícies da chapa, para teste de desempenho de soldador, devem ser examinadas visualmente conforme QW-452.1 (a). Os soldadores A, B e C soldaram todos os seus respectivos corpos de prova, obedecendo ao procedimento de soldagem elaborado anteriormente, e estes foram examinados tanto na face como na raiz. Os resultados do exame visual nos corpos de prova dos soldadores A, B e C são apresentados, respectivamente, nas Figuras 26, 27 e 28.

Os corpos-de-prova do soldador A foram considerados reprovados devido as descontinuidades apresentadas na Figura 26. Na posição 2 G, foi detectada falta de penetração na raiz. Na posição 3 G, foram detectados reforços excessivos e abertura de arco na face e falta de penetração na raiz. Na posição 4 G, foram detectados escorrimento de reforço na face e crateras na raiz. A reprovação nesta etapa elimina o soldador no restante do processo de qualificação da *ASME Section IX*, porém este pode executar um re-teste.

Os corpos-de-prova do soldador B foram considerados aprovados, conforme é mostrado na Figura 27. A presença de respingos, nas posições 3 G e 4 G, não é um fator que reprove o soldador.

Os corpos-de-prova do soldador C foram considerados aprovados, conforme é mostrado na Figura 28. Neste trabalho, os corpos-de-prova de soldadores reprovados continuaram a serem analisados por motivo de estudo.

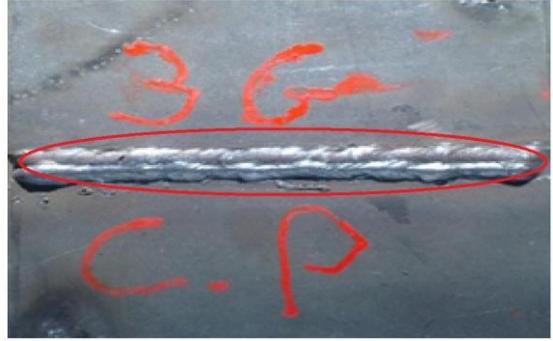
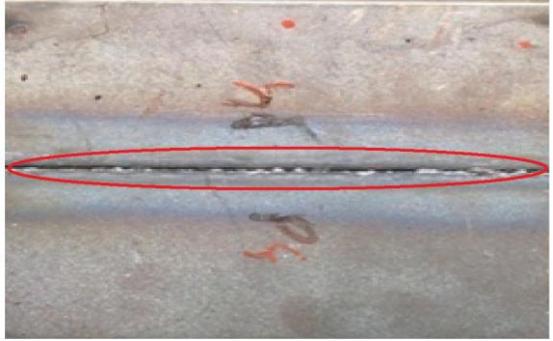
Soldador	Posição	Face	Raiz	Situação	Motivo
A	2 G			Reprovado	Falta de penetração na raiz
	3 G			Reprovado	Reforço excessivo e abertura de arco na face e falta de penetração na raiz
	4 G			Reprovado	Escorrimento de reforço na face e presença de crateras na raiz

Figura 26 - Ensaio Visual em amostras do soldador A.

Soldador	Posição	Face	Raiz	Situação	Motivo
B	2 G			Aprovado	Face e raiz em conformidade
	3 G			Aprovado	Face e raiz em conformidade obs: presença de respingos.
	4 G			Aprovado	Face e raiz em conformidade obs: presença de respingos.

Figura 27 - Ensaio visual em amostras do soldador B.

Soldador	Posição	Face	Raiz	Situação	Motivo
C	2 G			Aprovado	Face e raiz em conformidade
	3 G			Aprovado	Face e raiz em conformidade
	4 G			Aprovado	Face e raiz em conformidade

Figura 28 – Ensaio visual em amostras do soldador C.

6.2.1.2. Ensaio por líquido penetrante.

Os ensaios por líquido penetrante foram realizados em todas as chapas de desempenho de cada soldador, após o ensaio visual, com o intuito de detectar discontinuidades abertas para a superfície a ser inspecionada. Os critérios de aceitação foram os mesmos utilizados anteriormente para a qualificação do procedimento de soldagem. Foram detectadas não conformidades em amostras dos soldadores A e B, enquanto que nas amostras do soldador C, não foram encontradas não conformidades.

Os corpos-de-prova do soldador A, apresentados na Figura 29, foram considerados reprovados. Na posição 2 G, a falta de penetração na raiz foi confirmada. Na posição 3 G, a falta de penetração na raiz foi confirmada. Na posição 4 G, a cratera foi tão grande que o próprio procedimento de aplicação de LP removeu o excesso de fluido, expondo somente fissuras tanto na raiz como na face.

Os corpos-de-prova do soldador B, apresentados na Figura 30, foram considerados reprovados nas posições 3 G e 4G, porém aprovada na posição 2 G. Na posição 2 G, não houve indicações de discontinuidades. Na posição 3 G, houve indicação de fissuras na raiz. Na posição 4 G, houve indicações de fissuras tanto na face como na raiz.

Os corpos-de-prova do soldador C, apresentados na Figura 31, foram considerados aprovados. Não houve indicação de discontinuidades nas posições 2 G, 3 G e 4 G.

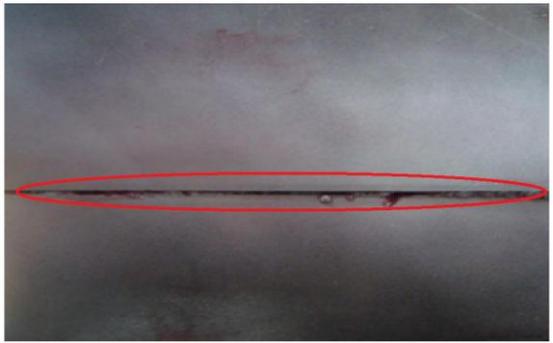
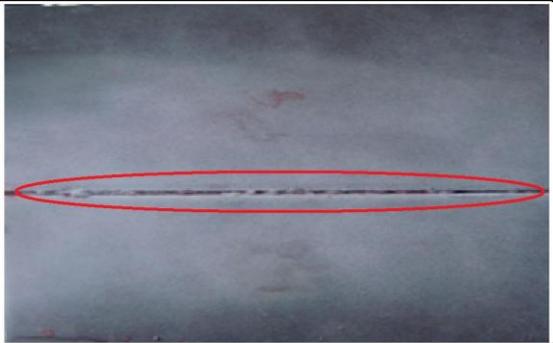
Soldador	Posição	Face	Raiz	Situação	Motivo
A	2 G			Reprovado	Indicação de descontinuidades na raiz
	3 G			Reprovado	Indicação de descontinuidades na raiz
	4 G			Reprovado	Indicação de descontinuidades na face e na raiz

Figura 29 - Revelador aplicado nos corpos de prova do soldador A.

Soldador	Posição	Face	Raiz	Situação	Motivo
B	2 G			Aprovado	Ausência de indicação de descontinuidades
	3 G			Reprovado	Indicação de descontinuidades na raiz
	4 G			Reprovado	Indicação de descontinuidades na face e na raiz

Figura 30 - Revelador aplicado nos corpos de prova do soldador B.

Soldador	Posição	Face	Raiz	Situação	Motivo
C	2 G			Aprovado	Ausência de indicação de descontinuidades
	3 G			Aprovado	Ausência de indicação de descontinuidades
	4 G			Aprovado	Ausência de indicação de descontinuidades

Figura 31 - Revelador aplicado nos corpos de prova do soldador C.

6.2.2. Ensaio destrutivo de dobramento.

Os ensaios para a qualificação de desempenho dos soldadores foram realizados com a mesma metodologia dos ensaios para a análise do procedimento de soldagem. Os resultados deste ensaio são apresentados na Tabela 20, enquanto que os corpos de prova dos ensaios de dobramento de todos os soldadores são apresentados na Figura 32.

Tabela 20 - Resultados do ensaio de dobramento de todos os soldadores testados.

CP's	Dimensões dos CP's (mm)	Ângulo de dobramento (°)	Descontinuidades	Qualificado
A-2G-1	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	NÃO
A-2G-2	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	
A-3G-1	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	NÃO
A-3G-2	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	
A-4G-1	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	NÃO
A-4G-2	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	
B-2G-1	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	NÃO
B-2G-2	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	
B-3G-1	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	NÃO
B-3G-2	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	
B-4G-1	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	NÃO
B-4G-2	152 x 38,1	180	> 3,2 mm	
C-2G-1	152 x 38,1	180	< 3,2 mm	SIM
C-2G-2	152 x 38,1	180	< 3,2 mm	
C-3G-1	152 x 38,1	180	< 3,2 mm	SIM
C-3G-2	152 x 38,1	180	< 3,2 mm	
C-4G-1	152 x 38,1	180	< 3,2 mm	SIM
C-4G-2	152 x 38,1	180	< 3,2 mm	

Os corpos-de-prova do soldador A foram eliminados por apresentarem trincas maiores que 3,2 mm na solda ou na ZAC, medido em qualquer direção. A causa mais provável do aparecimento de trincas pode ser explicada pelo fato das raízes se comportaram como um concentrador de tensões no momento do ensaio devido à falta de penetração durante a soldagem.

Os corpos-de-prova do soldador B foram eliminados por apresentarem trincas maiores que 3,2 mm na solda ou na ZAC, medido em qualquer direção. A causa mais provável dos rompimentos pode ser explicada pela excessiva energia de soldagem imposta ao corpo-de-prova, fragilizando-o, diminuindo a ductilidade do material.

Os corpos-de-prova do soldador C foram considerados aprovados por não apresentarem defeitos visuais na solda ou na ZAC superiores a 3,2 mm medidos em qualquer direção.

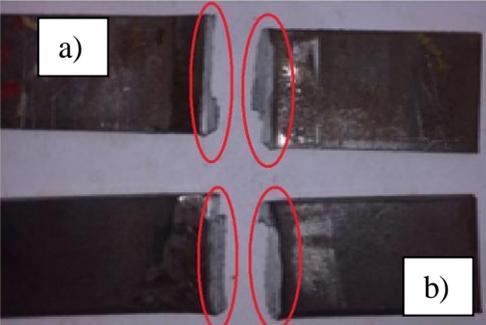
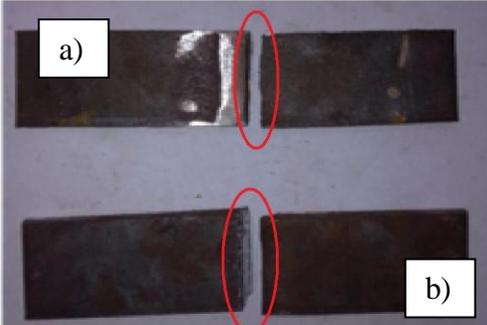
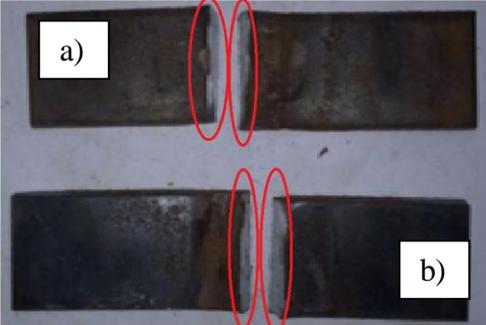
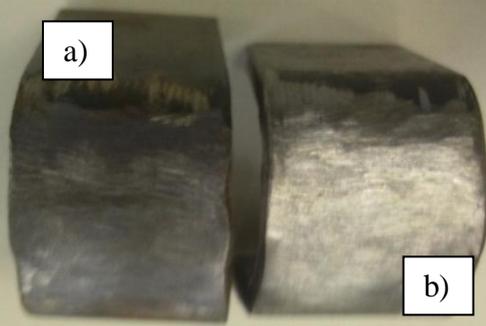
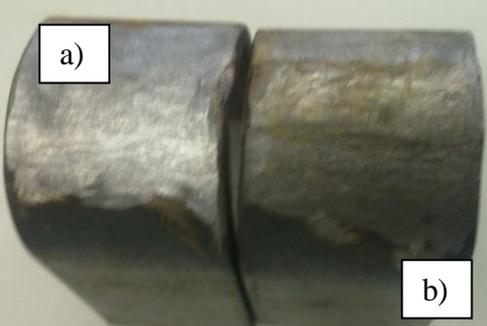
Soldador	2 G – a) Raiz e b) Face	3 G – a) Raiz e b) Face	4 G – a) Raiz e b) Face	Situação
A				Reprovado
B				Reprovado
C				Aprovado

Figura 32 – CP's do ensaio de dobramento de todos os soldadores testados.

7. Conclusão.

Foram projetados, fabricados e ensaiados, conforme *ASME Section IX*, vinte e quatro corpos-de-prova que deram origem a elaboração de documentos como EPS, RQPS e RTQS. Todas as fases deste trabalho, que correspondem desde a realização de ensaios visuais, por líquido penetrante, de dobramento e até os ensaios de tração, ocorreram com sucesso, permitindo a avaliação de um procedimento de soldagem e de soldadores de uma empresa do setor metal mecânico de Aracaju-SE. Este processo envolveu três soldadores experientes em soldagem por eletrodo revestido de uma empresa, sendo que apenas um dos três soldadores foi aprovado em todas as posições de soldagem, portanto, é notável que uma qualificação de um processo de soldagem pela *ASME Section IX* requer, para o sucesso dessa operação, soldadores habilitados. Para obter/manter um nível de excelência em soldagem em uma empresa, é recomendável:

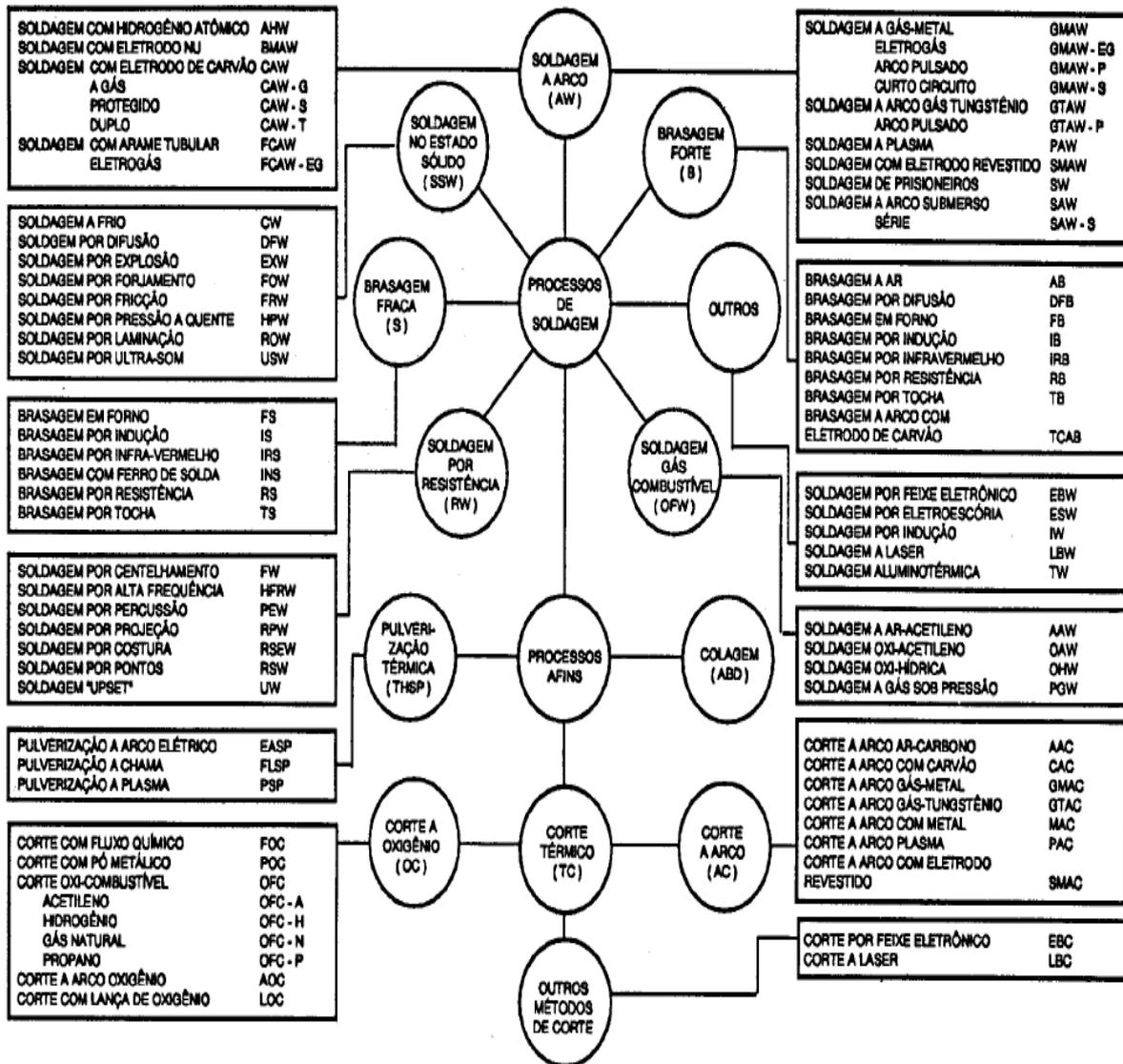
- Teste admissional de soldagem seguindo EPS, já qualificada pela empresa, para análise visual e por líquido penetrante nas posições almejadas para o cargo;
- Treinamento qualificado, de forma periódica e registrado, para os soldadores;
- Equipamentos apropriados para o uso e calibrados.

8. Referências Bibliográficas.

- ASME V. American Society of Mechanical Engineers – Boiler & Pressure Vessel Code. Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators. New York, USA. 2010.
- ASME IX. American Society of Mechanical Engineers - Boiler & Pressure Vessel Code. Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators. New York, USA. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6153**: Produtos metálicos – Ensaio de dobramento semi-guiado – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10614**: Eletrodos revestidos de aço-carbono para a soldagem a arco elétrico - Classificação. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13043**: Soldagem – Números e nomes de processos. Rio de Janeiro, 1993.
- AWS D1.1/D1.1M, Structural Welding Code-Steel, AMERICAN WELDING SOCIETY, Miami-USA, 2008.
- CALLISTER, J. W. D. Ciência e Engenharia de Materiais – Uma introdução – 7. Ed. – Rio de Janeiro; LTC, 2008.
- CHIAVERINI, V. Tecnologia mecânica Volume I, - 2. Ed. – São Paulo; McGraw-Hill, 1986.
- CHIAVERINI, V. Tecnologia mecânica Volume II, – 2. Ed. – São Paulo; McGraw-Hill, 1986.
- NBR-13: Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão. – Edição comemorativa 10 anos da NR-13. – Brasília: MTE, SIT, DSST, 2004.
- Soldagem: fundamentos e tecnologia / Paulo Villani Marques, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense – 3ª edição atualizada – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.

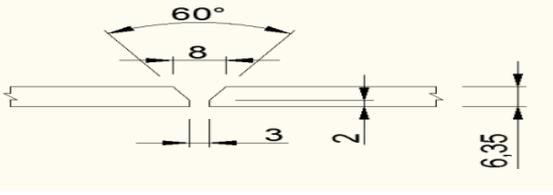
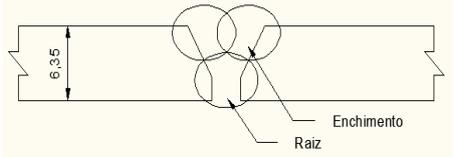
9. Anexos.

9.1. Anexo A – Classificações dos processos de soldagem, segundo a AWS.



10. Apêndices.

10.1. Apêndice A.

Nome da Indústria		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)			
Nome do documento: ER-RQPS-01/R-0		Data: 10/05/2012		Folha: 01 de 03	
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual		Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010	
Metais de base					
Classificação: ASTM A-36 x ASTM A-36		Grupo: P-nº. 1 x P-nº. 1		Espessura: 6,35 mm	
Chanfro			Passes de solda		
					
Metais de adição					
Passe	Classificação AWS	Diâmetro do eletrodo (mm)	Especificação ASME	F-nº.	Marca Comercial /Fabricante
Raiz	E-6010	2,5	SFA-5.1	3	OK 22.45 P / ESAB
Enchimento	E-7018	3,25	SFA-5.1	4	OK 48.04 / ESAB
Gás de proteção do arco de soldagem			Gás de proteção da raiz		
Tipo:		Sem necessidade		Tipo:	
Composição:				Composição:	
Vazão:				Vazão:	
Temperaturas medidas			Posição		Limpeza
Pré-aquecimento:		30°C		Posição de Soldagem: 2 G	
Interpasse:		Máxima de 231°C			
Pós-aquecimento:		Sem necessidade			
Inspetor de Solda N2		Inspetor de Solda N1		Engenheiro Mecânico	

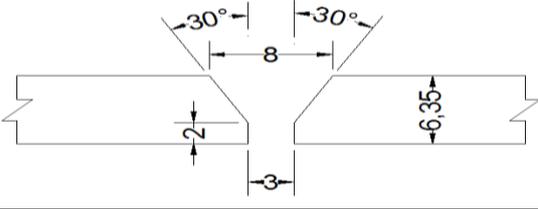
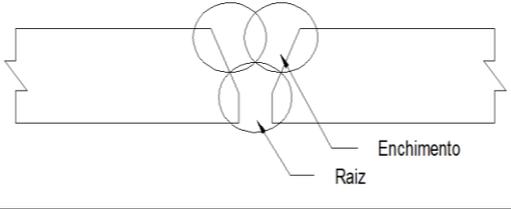
10.2. Apêndice B.

Nome da Indústria		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)		
Nome do documento: ER-RQPS-01/R-0		Data: 10/05/2012	Folha: 02 de 03	
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual	Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010	
Equipamentos		Ferramentas		
Máquina de soldagem por eletrodo revestido da ESAB.		Escova rotativa para aço carbono		
		Picadeira		
Termômetro infravermelho.		Esmerilhadeira		
Técnica operatória				
Passe	Eletrodo / Diâmetro (mm)	Tecimento	Amplitude da oscilação (mm)	Velocidade (cm/min)
Raiz	E-6010 / 2,5	Oscilante	2 a 5	15,45
Enchimento	E-7018 / 3,25	Oscilante	4 a 8	18,82
Características elétricas				
Passe	Eletrodo / Diâmetro (mm)	Tipo de corrente / Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)
Raiz	E-6010 / 2,5	CC / +	73 a 80	23 a 25
Enchimento	E-7018 / 3,25	CC / +	124 a 133	26 a 29
Inspetor de Solda N2		Inspetor de Solda N1		Engenheiro Mecânico

10.3. Apêndice C.

Nome da Indústria		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)			
Nome do documento: ER-RQPS-01/R-0		Data: 10/05/2012		Folha: 03 de 03	
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual		Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010	
Ensaio Destrutivos					
Ensaio de Tração					
CP's	Dimensões da seção transversal da solda (mm) / Área transversal (mm²)	Força Aplicada (kN)	LRT do CP (MPa)	LRT necessário (MPa)	Local de Ruptura
T 01	19 x 6,35 / 120,65	50,28	416,7	380	Fora da solda
T 02	19 x 6,35 / 120,65	53,32	441,9	380	Fora da solda
Ensaio de Dobramento					
CP's	Dimensões do CP's (mm x mm)	Ângulo de dobramento (°)		Descontinuidades	
D 01	152 x 38,1	180		< 3,2 mm	
D 02	152 x 38,1	180		< 3,2 mm	
D 03	152 x 38,1	180		< 3,2 mm	
D 04	152 x 38,1	180		< 3,2 mm	
Ensaio não-destrutivos					
Tipo: Visual desarmada Aprovado				Laudos:	
Inspetor de Solda N2					
Inspetor de Solda N1		Engenheiro Mecânico			

10.4. Apêndice D.

Nome da Indústria		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)				Referência: ER-RQPS-01/R-0
Data: 10/05/2012		Folha: 01 de 02		Nome do documento: ER-EPS-01/R-0		
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual		Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010		
Especificação de chanfro			Passes de solda			
						
Metal de base			Temperaturas			
Especificação: ASTM A-36 x ASTM A-36. P-n.º: P-n.º. 1 x P-n.º. 1. Tipo de junta qualificada: Chanfro e em Ângulo. Espessura em junta de topo (T): 6,35 mm. Espessura em junta de ângulo (T): 6,35 mm. Cobre junta: ausente.			Pré-aquecimento: 30°C. Interpasse: Máxima de 250°C. Pós-aquecimento: Não aplicável. OBS: A medição da temperatura pode ser executada com termômetro de contato, infravermelho, lápis térmico, termopar ou aparelhos semelhantes.			
			Posição de soldagem			
			Posição de soldagem: Todas. Progressão de soldagem: Ascendente e ou Descendente.			
Gás de proteção do arco de soldagem			Tratamento térmico pós-soldagem			
Tipo:		Sem necessidade	Controle inicial de temperatura: não aplicável.			
Composição:			Taxa de aquecimento: não aplicável.			
Vazão:			Temperatura de trat. térmico: não aplicável.			
Gás de proteção da raiz			Tempo de tratamento térmico: não aplicável.			
Tipo:		Sem necessidade	Taxa de resfriamento: não aplicável.			
Composição:			Controle final de temperatura: não aplicável.			
Vazão:						
Metals de adição						
Passo	Classificação AWS	Diâmetro do eletrodo (mm)	Especificação ASME	F-n.º.	Marca Comercial /Fabricante	
Raiz	E-6010	2,5 – 3,25	SFA-5.1	3	OK 22.45 P / ESAB	
Enchimento	E-7018	2,5 – 3,25	SFA-5.1	4	OK 48.04 / ESAB	
Inspetor de Solda N2		Inspetor de Solda N1			Engenheiro Mecânico	

10.5. Apêndice E.

Nome da Indústria		ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)			Referência: ER-RQPS-01/R-0	
Data: 10/05/2012		Folha: 02 de 02		Nome do documento: ER-EPS-01/R-0		
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual		Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010		
Características elétricas						
Passe	Eletrodo / Diâmetro (mm)	Tipo de corrente / Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)		
Raiz	E-6010 / 2,5	CC / +	60-80	22 a 28		
Enchimento	E-7018 / 3,25	CC / +	110-150	20 a 30		
Técnica de Soldagem						
Passe	Tipo de cordão	Oscilação Max. (mm)	Eletrodo Múltiplo ou Simples	Velocidade (cm/min)	Velocidade de alimentação de arame	
Raiz	Oscilante	3 x Ø	Simples	12-17	Não aplicável	
Enchimento				15-20		
Limpeza Inicial: Esmerilhamento.						
Limpeza Interpasse: Escovamento e/ou esmerilhamento.						
Método de goivagem: Não aplicável.						
Abertura de arco: O arco deve ser aberto no chanfro ou em uma chapa apêndice.						
Gás de proteção do arco de soldagem				Tratamento térmico pós-soldagem		
Tipo:		Sem necessidade		Controle inicial de temperatura: não aplicável.		
Composição:				Taxa de aquecimento: não aplicável.		
Vazão:				Temperatura de tratamento térmico: não aplicável.		
Gás de proteção da raiz				Tempo de tratamento térmico: não aplicável.		
Tipo:		Sem necessidade		Taxa de resfriamento: não aplicável.		
Composição:				Controle final de temperatura: não aplicável.		
Vazão:						
Metais de adição						
Passe	Classificação AWS	Diâmetro do eletrodo (mm)	Especificação ASME	F-nº.	Marca Comercial /Fabricante	
Raiz	E-6010	2,5	SFA-5.1	3	OK 22.45 P / ESAB	
Enchimento	E-7018	3,25	SFA-5.1	4	OK 48.04 / ESAB	
Inspetor de Solda N2			Inspetor de Solda N1		Engenheiro Mecânico	

10.6. Apêndice F.

Nome da Indústria		REGISTRO DE TESTE DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADORES (RTQS)	
Nome do documento: ER-RTQS-01-2G/R-0		Data: 10/05/2012	Folha: 01 de 01
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual	Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010
Informações do soldador			
Nome: Soldador C		C.P.F/R.G: xxx.xxx.xxx-xx/x.xxx.xxx-x	Setor: Vasos de pressão e Caldeiras
Teste de soldagem			
Parâmetros		Dados do teste	Limites de qualificação
Metal de base	P.n°	1	1 a 11, 34, 41 a 49 e metais com composição química semelhantes.
	Especificação	ASTM A 36	Não aplicável
	Espessura (mm)	6,35 mm (1/4")	12,7 mm (1/2")
	Diâmetro Externo (mm)	Chapa	Ø Ext. > 73,0 mm
Cobre junta		Sem	Com / Sem
Metal depositado	F.n°	3 / 4	1 a 4 / 3 e 4
	Especificação	SFA 5.1	Não aplicável
	Classificação	E-6010 / E-7018	Não aplicável
	Marca Comercial	OK 22.45P + OK 48,04	Não aplicável
	Espessura (mm)	6,35 mm (1/4")	12,7 mm (1/2")
Posição de soldagem		2 G	Plana e Horizontal
Progresso de soldagem		Não aplicável	Não aplicável
Gás de proteção		Não aplicável	Não aplicável
Ensaios			
Dobramento		Visual	
Tipos: Face e raiz		Resultado: Aprovado	
Dimensões dos CP's (mm x mm): 152 x 38,1			
Ø do cutelo (mm): 25,4			
Ângulo de dobramento (α): 180°			
Resultado: Aprovado			
Inspetor de Solda N2	Inspetor de Solda N1	Engenheiro Mecânico	

10.7. Apêndice G.

Nome da Indústria		REGISTRO DE TESTE DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADORES (RTQS)	
Nome do documento: ER-RTQS-01-3G/R-0		Data: 10/05/2012	Folha: 01 de 01
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual	Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010
Informações do soldador			
Nome: Soldador C		C.P.F/R.G: xxx.xxx.xxx-xx/x.xxx.xxx-x	Setor: Vasos de pressão e Caldeiras
Teste de soldagem			
Parâmetros		Dados do teste	Limites de qualificação
Metal de base	P.n°	1	1 a 11, 34, 41 a 49 e metais com composição química semelhantes.
	Especificação	ASTM A 36	Não aplicável
	Espessura (mm)	6,35 mm (1/4")	12,7 mm (1/2")
	Diâmetro Externo (mm)	Chapa	Ø Ext. > 73,0 mm
Cobre junta		Sem	Com / Sem
Metal depositado	F.n°	3 / 4	1 a 4 / 3 e 4
	Especificação	SFA 5.1	Não aplicável
	Classificação	E-6010 / E-7018	Não aplicável
	Marca Comercial	OK 22.45P + OK 48,04	Não aplicável
	Espessura (mm)	6,35 mm (1/4")	12,7 mm (1/2")
Posição de soldagem		3 G	Plana e Vertical
Progresso de soldagem		Não aplicável	Não aplicável
Gás de proteção		Não aplicável	Não aplicável
Ensaios			
Dobramento		Visual	
Tipos: Face e raiz		Resultado: Aprovado	
Dimensões dos CP's (mm x mm): 152 x 38,1			
Ø do cutelo (mm): 25,4			
Ângulo de dobramento (α): 180°			
Resultado: Aprovado			
Inspetor de Solda N2	Inspetor de Solda N1	Engenheiro Mecânico	

10.8. Apêndice H.

Nome da Indústria		REGISTRO DE TESTE DE QUALIFICAÇÃO DE SOLDADORES (RTQS)	
Nome do documento: ER-RTQS-01-4G/R-0		Data: 10/05/2012	Folha: 01 de 01
Processo de Soldagem: SMAW – Eletrodo Revestido		Tipo: Manual	Norma: ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX ED. 2010
Informações do soldador			
Nome: Soldador C		C.P.F/R.G: xxx.xxx.xxx-xx/x.xxx.xxx-x	Setor: Vasos de pressão e Caldeiras
Teste de soldagem			
Parâmetros		Dados do teste	Limites de qualificação
Metal de base	P.n.º	1	1 a 11, 34, 41 a 49 e metais com composição química semelhantes.
	Especificação	ASTM A 36	Não aplicável
	Espessura (mm)	6,35 mm (1/4")	12,7 mm (1/2")
	Diâmetro Externo (mm)	Chapa	Ø Ext. > 73,0 mm
Cobre junta		Sem	Com / Sem
Metal depositado	F.n.º	3 / 4	1 a 4 / 3 e 4
	Especificação	SFA 5.1	Não aplicável
	Classificação	E-6010 / E-7018	Não aplicável
	Marca Comercial	OK 22.45P + OK 48,04	Não aplicável
	Espessura (mm)	6,35 mm (1/4")	12,7 mm (1/2")
Posição de soldagem		4 G	Plana e Sobre-cabeça
Progresso de soldagem		Não aplicável	Não aplicável
Gás de proteção		Não aplicável	Não aplicável
Ensaios			
Dobramento		Visual	
Tipos: Face e raiz		Resultado: Aprovado	
Dimensões dos CP's (mm x mm): 152 x 38,1			
Ø do cutelo (mm): 25,4			
Ângulo de dobramento (α): 180°			
Resultado: Aprovado			
Inspetor de Solda N2		Inspetor de Solda N1	
		Engenheiro Mecânico	