

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CARLA GABRIELA PAIÃO DUNDI

**ELABORAÇÃO DE ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM
PRÉ-QUALIFICADA: SOLDAGEM DE JUNTA DE TOPO EM SISTEMA DE
ANCORAGEM DE UMA LINHA DE VIDA RÍGIDA HORIZONTAL**

GUARAPUAVA

2023

CARLA GABRIELA PAIÃO DUNDI

**ELABORAÇÃO DE ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM
PRÉ-QUALIFICADA: SOLDAGEM DE JUNTA DE TOPO EM SISTEMA DE
ANCORAGEM DE UMA LINHA DE VIDA RÍGIDA HORIZONTAL**

**Preparation of Prequalified Welding Procedure Specification: welding of butt
joint in a horizontal rigid lifeline anchorage system.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Henrique Ajuz Holzmann

Coorientador(a): Nome completo e por extenso.

GUARAPUAVA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CARLA GABRIELA PAIÃO DUNDI

**ELABORAÇÃO DE ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM
PRÉ-QUALIFICADA: SOLDAGEM DE JUNTA DE TOPO EM SISTEMA DE
ANCORAGEM DE UMA LINHA DE VIDA RÍGIDA HORIZONTAL**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 11 de dezembro de 2023.

Henrique Ajuz Holzmann
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

Viviane Teleginski Mazur
Doutora em Ciências e Tecnologias Espaciais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

Luiz Fernando Rigatti
Doutor em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

**GUARAPUAVA
2023**

AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada, agradeço e consagro este trabalho a Deus e à Nossa Senhora das Graças, que desde sempre estiveram junto de mim, sendo muito mais do que simples crenças, mas presenças reais em todo e cada momento da minha vida, cuidando e me permitindo estar junto de pessoas que espero ter feito tão bem, quanto me fizeram e fazem.

Entre essas pessoas, os primeiros não poderiam deixar de serem meus pais e irmã, que são meu porto seguro, meus confidentes, melhores amigos, meu lar aonde quer que estejam e que sempre me deram apoio e amor incondicional para seguir meu caminho.

Do mesmo modo também agradeço a todos os demais membros da minha numerosa família, que assim como meus pais, seguiram e seguem o exemplo dos meus amados avós (tanto paternos quanto maternos) que construíram nossa família sempre valorizando a busca do conhecimento não como uma forma de crescimento pessoal vaidoso, mas sabendo que é das poucas coisas que levamos da vida e que quando partilhada no intuito de fazer o bem, tem a peculiar característica de se multiplicar.

Aos meus amigos, que conquistei através do curso ou não, e em especial ao meu namorado, agradeço por tornarem essa jornada, muitas vezes solitária, mais colorida, leve e compartilhada. Com eles ao meu lado o desânimo pode não ter se tornado inexistente, mas sempre foi um estado transitório e seguido de um ânimo que me impulsionava a seguir em frente.

E por fim; a todos os professores que contribuíram para a minha jornada acadêmica e para a realização deste trabalho; e aos membros, especialmente ao meu supervisor e a coordenadora do setor de Saúde Segurança e Meio-ambiente onde estagiei, agradeço pela dedicação em compartilhar seus saberes, pela paciência em esclarecer minhas dúvidas e pela inspiração que me proporcionaram ao longo desta trajetória. Agradeço também por terem acreditado em meu potencial, incentivando-me a superar desafios e a buscar sempre fazer o meu melhor.

RESUMO

O presente trabalho apresenta a elaboração de uma especificação de procedimento de soldagem pré-qualificada para o processo GMAW (Gas Metal Arc Welding), através de uma revisão bibliográfica de normas brasileiras e estrangeiras, visando definir os parâmetros a ser aplicados para as juntas de topo que ligam vigas de perfil "I". A estrutura usada como referência para determinação das dimensões do material a ser soldado e das condições ambientais de soldagem, consiste em um sistema de ancoragem de linha de vida rígida horizontal, instalado em um ambiente fechado, um barracão de armazenamento de cascas de sementes. A soldagem é um processo fundamental para a integridade estrutural de sistemas de ancoragem, garantindo a segurança dos trabalhadores que utilizam a linha de vida. A soldagem GMAW foi escolhida devido à sua eficiência e versatilidade. O estudo abordará a seleção dos parâmetros de soldagem, a preparação das juntas, os materiais a serem utilizados e os critérios de que permitem a classificação desta especificação como "pré-qualificada" segundo norma; visando assegurar a qualidade e confiabilidade da solda. Através deste trabalho, espera-se contribuir para a padronização e melhoria dos procedimentos de soldagem em sistemas de ancoragem, visando a segurança e a eficiência das estruturas.

Palavras-chave: procedimento; soldagem; linha de vida; junta de topo.

ABSTRACT

The present work presents the elaboration of a pre-qualified welding procedure specification for the GMAW (Gas Metal Arc Welding) process, through a bibliographical review of Brazilian and foreign standards, aiming to define the parameters to be applied to the butt joints that connect "I" profile beams. The structure used as a reference to determine the dimensions of the material to be welded and the environmental conditions of welding, consists of a horizontal rigid lifeline anchoring system, installed in a closed environment, a seed pod storage shed. Welding is a fundamental process for the structural integrity of anchoring systems, ensuring the safety of workers using the lifeline. GMAW welding was chosen due to its efficiency and versatility. The study will address the selection of welding parameters, the preparation of the joints, the materials to be used and the criteria that allow this specification to be classified as "pre-qualified" according to the standard; aiming to ensure the quality and reliability of the weld. Through this work, it is expected to contribute to the standardization and improvement of welding procedures in anchoring systems, aiming at the safety and efficiency of structures.

Keywords: procedure; welding; life line; butt joint.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Linha de vida horizontal flexível	16
Figura 2 - Linha de vida rígida horizontal	17
Figura 3 – Junta de topo	20
Figura 4 - Geometria de junta.....	22
Figura 5 - Face do chanfro e face da raiz.....	23
Figura 6 - Aba e mesa de cada perfil	24
Figura 7 - Processo de soldagem MIG/MAG (GMAW).....	27
Figura 8 - Posições de soldagem	27
Figura 9 - Modo de transferência GMAW por curto-circuito	28
Figura 10 - Perfil W	30
Figura 11 - Correlação entre taxa de fusão, velocidade de alimentação e corrente de soldagem.....	34
Figura 12 - Ranhura em duplo V com medidas em milímetros.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição ASTM 572 grau 50 (adaptada)	29
Tabela 2 - Propriedades mecânicas do metal de adição e gás de solda do eletrodo ER70S-6 (adaptada).....	31
Tabela 3 - Composição química do metal de adição selecionado (adaptada)	32
Tabela 4 -Faixa de corrente adequada para cada diâmetro de eletrodo (adaptada).	33
Tabela 5 - Tipo de preparação e número de passes recomendado de acordo com a espessura	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
EPS	Especificação de Procedimento de Soldagem
NBR	Normas Brasileiras
SPIQ	Sistema de Proteção individual Contra Quedas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WPS	<i>Welding Procedure Specifications</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
1.3	Hipótese Erro! Indicador não definido.	
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Linha de vida	16
2.1.1	Linha de vida rígida horizontal.....	16
2.1.2	Sistema de ancoragem.....	17
2.2	EPS – Especificação de procedimento de soldagem	17
2.2.1	EPS pré-qualificada	18
2.3	Soldagem	19
2.3.1	Soldagem por arco elétrico.....	19
2.3.2	Junta de topo.....	20
2.3.3	Soldas de entalhe.....	21
2.3.4	Metais envolvidos no processo.....	22
2.4	Perfis laminados de aço para uso estrutural	23
2.4.1	Perfis W	23
2.4.2	Perfis I	23
3	DESENVOLVIMENTO DE EPS PRÉ-QUALIFICADA	25
3.1	Levantamento de dados	25
3.2	Processo de soldagem	26
3.3	Posição de soldagem	27
3.4	Modo de transferência	28
3.5	Metal base	28
3.5.1	Metal base da linha de vida	29
3.6	Requisitos de Temperatura de Pré-aquecimento e Interpasse	30
3.7	Metais de Adição	31
3.8	Diâmetro nominal do eletrodo	32
3.9	Corrente e tensão	32
3.10	Tipo de corrente e polaridade	33

3.11	Velocidade de soldagem e de alimentação do arame	33
3.12	Composição nominal do gás de proteção	34
3.13	Taxa de fluxo de gás de proteção	35
3.14	Juntas soldada e tipo de solda	36
3.14.1	Entalhe adotado	37
3.15	Tratamento Térmico Pós-soldagem.....	37
4	RESULTADOS.....	39
5	CONCLUSÃO	40
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	42

1 INTRODUÇÃO

A segurança do trabalho em altura é uma das principais preocupações em diversos setores. Nesse contexto, a linha de vida é um dos equipamentos mais utilizados como medida de proteção coletiva, garantindo a segurança dos trabalhadores que realizam atividades em altura. E para que a linha de vida seja efetiva e segura, é necessário que seja projetada e instalada corretamente, seguindo normas regulamentadoras e padrões de qualidade estabelecidos, visando a viabilidade de uma determinada atividade.

Assim, para um controle de qualidade adequado da instalação de uma linha de vida, é fundamental o detalhamento das informações constantes no projeto estrutural e no memorial descritivo do SPIQ. E entre as informações a serem detalhadas, as especificações relacionadas às juntas soldadas, que naturalmente existirão ao longo de uma estrutura como essa, devem receber atenção da mesma forma que as informações sobre as fixações de ancoragem recebem, por exemplo. Uma vez que essas, se executadas de maneira incorreta ou inapropriada, podem comprometer a eficiência do sistema de ancoragem e conseqüentemente, comprometer também a segurança do trabalhador. O que deve ser tido como inadmissível, uma vez que as conseqüências de um acidente em atividades que utilizam a estrutura abordada, podem ser graves, levando até mesmo ao óbito.

Com base nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer uma EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem) pré-qualificada, que oriente o setor de segurança do trabalho na tomada de decisões quanto à aprovação de um projeto de instalação de linha de vida proposto por um fornecedor; de modo que os parâmetros propostos estejam em conformidade com as normas estabelecidas.

Desse modo, espera-se que os resultados obtidos possam ser utilizados por engenheiros e técnicos de segurança do trabalho, nas tomadas de decisão, para que essas sejam cada vez mais assertivas e independentes de conhecimentos específicos sobre soldagem por parte do profissional de segurança.

1.1 Justificativa

A necessidade do presente estudo surgiu devido a um problema quanto a avaliação dos projetos apresentados por empresas contratadas para a instalação de linhas de vida em um novo barracão operacional recém construído, em uma cooperativa agroindustrial na região de Guarapuava, no estado do Paraná.

Por não haver uma referência interna padrão, na empresa, para as soldas de união das vigas de perfil “I”, que formariam a estrutura do sistema de ancoragem das linhas de vida rígida, o controle de qualidade do projeto se viu com dificuldades para exigir parâmetros de soldagem aos quais o projeto teria que estar de acordo. Somado a isso, ao não especificar o tipo de solda aplicada e o eletrodo que deve ser utilizado, o fornecedor abre a possibilidade para adoção de um procedimento inadequado, por parte do profissional que realiza a instalação. Considerando ainda que alguns parâmetros de soldagem necessitam de conhecimentos específicos para serem avaliados, chegou-se à conclusão de que uma saída para esse problema seria o estabelecimento de uma EPS para auxiliar às tomadas de decisão.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Estabelecer requisitos para validação das soldas de união entre vigas de perfil “I” de um sistema de ancoragem de linha de vida rígida horizontal, através da elaboração de uma EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem) pré-qualificada.

1.2.2 Objetivos específicos

- A partir do memorial descritivo da linha de vida rígida horizontal instalado que será utilizado como base, levantar as dimensões e os demais critérios estabelecidos como ponto de partida do projeto;
- Definir um modelo de EPS a ser preenchido

- Identificar os requisitos que devem conter em uma EPS para que esta seja considerada como pré-qualificada
- Escrever a EPS propriamente dita.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Linha de vida

A linha de vida, também conhecida como linha de ancoragem, exemplificada na Figura 1, pode ser definida como um dispositivo de proteção contra quedas, usado em trabalhos em altura. Consiste em um elemento que fixado à estruturas estáveis, une dois pontos, verticalmente ou horizontalmente; de forma flexível; a partir de uma corda, cabo ou fita resiste; ou de maneira rígida; utilizando vigas de perfil “i”, “C” ou “U”, por exemplo. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020)

Figura 1 - Linha de vida horizontal flexível

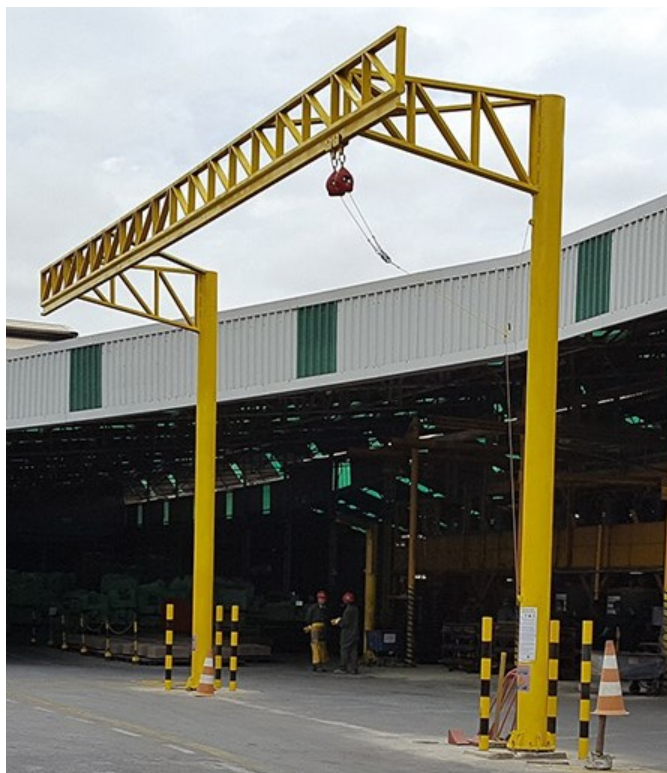


Fonte: CTNR Treinamentos (2023)

2.1.1 Linha de vida rígida horizontal

A linha de vida rígida horizontal, também chamada de “dispositivo de ancoragem tipo D”, pode ser assim definida quando medindo-se entre quaisquer pontos ao longo de seu curso, a linha não se desvia do plano horizontal em mais de 15 graus. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014)

Figura 2 - Linha de vida rígida horizontal



Fonte: Dois Dez (2023)

2.1.2 Sistema de ancoragem

Segundo consta na norma brasileira, o sistema de ancoragem é projetado para ser parte de um sistema pessoal de proteção contra queda e tem a função de incorporar um ou mais pontos de ancoragem e/ou dispositivo de ancoragem, ou um elemento, ou ancoragem estrutural. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014)

2.2 EPS – Especificação de procedimento de soldagem

Uma EPS é produzida com base em normas e regras de soldagem reconhecidas, como as publicadas por organizações de referência como a *American Welding Society (AWS)* ou a *International Organization for Standardization (ISO)*, em que os requisitos técnicos, que devem ser seguidos para garantir a qualidade da solda, estão descritos.

Segundo a ASME (2021), a Especificação do Procedimento de Soldagem (EPS, do inglês, *Welding Procedure Specification – WPS*) é um documento que descreve as condições (incluindo tolerâncias, se aplicável) nas quais a soldagem deve ser realizada. Entre os requisitos estão: os metais de base permitidos, os metais de adição que devem ser usados (se houver), os requisitos para pré-aquecimento e tratamento térmico pós-soldagem, etc. Oferece uma explicação completa das condições e etapas necessárias para realizar a operação de soldagem, a fim de garantir a qualidade da solda, a confiabilidade e replicabilidade do processo. (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 2021)

2.2.1 EPS pré-qualificada

A Especificação de Processo de Soldagem (EPS) pré-qualificada é um tipo de especificação de processo de soldagem, que sob determinadas condições, previamente estipuladas, apresenta os parâmetros estabelecidos por uma norma de soldagem específica e, portanto, aceitável para uso sem testes de qualificação de procedimento. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020a)

Segundo a norma americana AWS D1.1/D1.1M, por definição as EPSs pré-qualificadas são isentas de Qualificação de Procedimento de Soldagem (QPS). E para isso, esse tipo de especificação deverá ser descrito em conformidade com os requisitos estabelecidos pela cláusula 5 dessa mesma norma. Ela pode ser descrita pelo fabricante ou pelo contratante.

Sendo assim, a EPS pré-qualificada tem a capacidade de economizar tempo e dinheiro, pois o procedimento de qualificação é dispensável nesse caso. No entanto, é fundamental que a EPS pré-qualificada seja readequada ou mesmo reescrita, quando houverem mudanças nas circunstâncias de realização do processo que excedam às tolerâncias admitidas pela norma AWS D1.1/D1.1M, para assim garantir essa pré-qualificação normatizada. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

A fase de qualificação é onde uma EPS pré-qualificada mais se diferencia de uma EPS tradicional. Uma EPS típica deve passar por todo o procedimento de qualificação antes de poder ser utilizada, mas uma EPS pré-qualificada já foi avaliada e aprovada, economizando tempo e recursos.

2.2.1.1 Estabelecimento de uma EPS pré-qualificada

O levantamento de parâmetros para o estabelecimento de uma EPS pré-qualificada segue o estabelecido pela norma AWS D1.1/D1.1M (2020), que na cláusula 5 apresenta os requisitos para Especificações de Procedimento de Soldagem Pré-qualificadas.

A cláusula supracitada é dividida nas seguintes 8 partes que orientam o desenvolvimento da EPS:

- “Parte A – Desenvolvimento de EPS
- Parte B – Metal Base
- Parte C – Juntas Soldadas
- Parte D – Processos de Soldagem
- Parte E – Metais de Adição e Gases de Proteção
- Parte F – Requisitos de Temperatura de Pré-aquecimento e Interpasse
- Parte G – Requisitos da EPS
- Parte H – Tratamento Térmico Pós-soldagem” (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020)

2.3 Soldagem

Segundo Marques (2016) a definição de “soldagem” é muito ampla, pois apesar de classicamente ser considerada um processo de união, hoje o termo já abrange variações desse processo, que visam recuperação de peças desgastadas ou formação de revestimentos de superfícies, além de processos de corte de peças metálicas que são semelhantes à soldagem.(MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

A soldagem pode ser definida pela norma americana AWS D1/D1.1M (2020) no aspecto mais operacional:

“Um processo de união que produz a coalescência de materiais pelo aquecimento até a temperatura de soldagem, com ou sem aplicação de pressão ou apenas pela aplicação de pressão, e com ou sem o uso de metal de adição.” (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

2.3.1 Soldagem por arco elétrico

Uma das técnicas de soldagem mais empregadas é a soldagem a arco, que usa um arco elétrico para derreter e combinar materiais. Uma corrente elétrica é criada

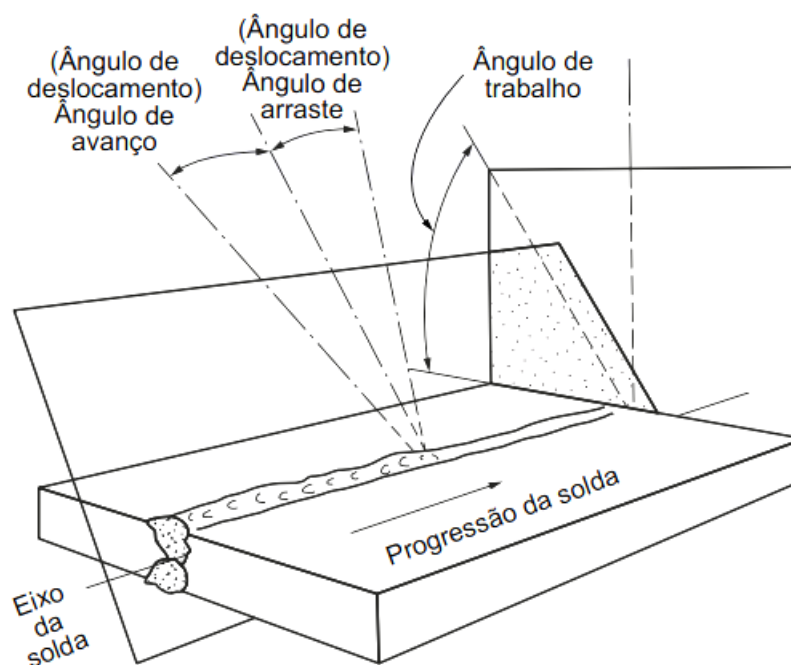
neste procedimento entre um eletrodo e a peça de trabalho. Quando o eletrodo é aproximado da superfície do material, um arco elétrico é produzido. Essa fonte de calor pode derreter tanto o eletrodo quanto o metal base. Uma junção sólida e duradoura é criada à medida que o metal líquido esfria e solidifica. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

A soldagem a arco é utilizada em uma variedade de processos e permite a união flexível de muitos materiais, incluindo aço, alumínio, cobre e suas ligas. Dentre os principais processos de soldagem por arco elétrico, destacam-se o eletrodo revestido (SMAW), o MIG/MAG (GMAW), o TIG (GTAW) e o arco submerso (SAW).

2.3.2 Junta de topo

Segundo a NBR 10474, esse tipo de união é o processo de soldagem executado em uma junção onde a seção transversal é aproximadamente alinhada no mesmo plano e perpendicular às superfícies dos componentes a serem soldados, como pode-se visualizar na Figura 3.

Figura 3 – Junta de topo



a) Chapa em topo

Fonte: NBR 10474 (2020)

2.3.3 Soldas de entalhe

Soldas de entalhe são normalmente usadas para união entre duas placas que estejam alinhadas no mesmo plano (junta de topo). Nesse caso, as bordas das duas placas, na qual a solda é executada, são rebaixadas. Juntas de canto e juntas "T" também podem ser construídas com soldas de entalhe. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

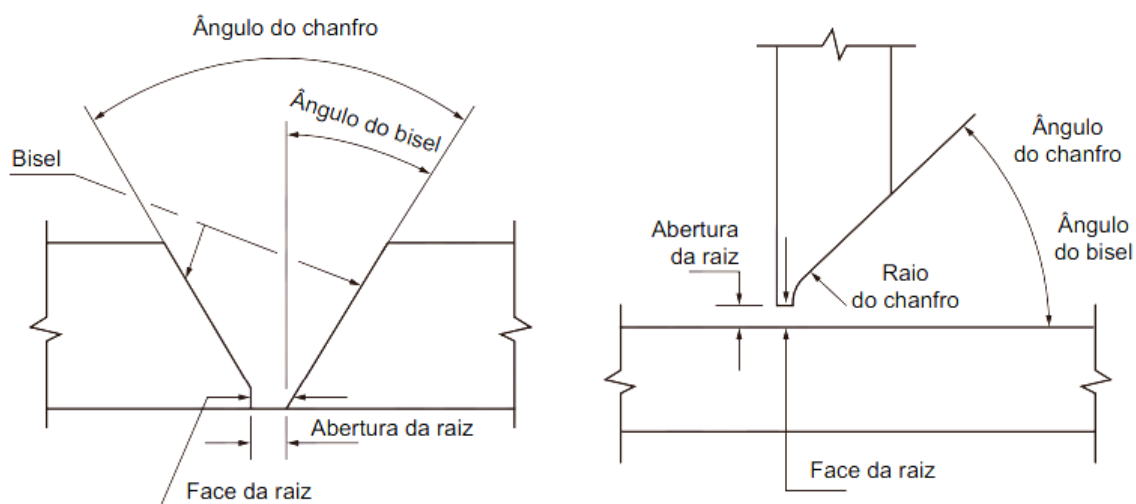
2.3.4 Nomenclatura para solda de entalhe

A seguinte nomenclatura, ilustrada pela Figura 4, é adotada quando se realiza uma solda de entalhe:

- Abertura da raiz ("R"): afastamento das partes à serem conectadas.
- Ângulo de entalhe (" α "): ângulo que as duas faces de fusão formam.
- Área efetiva ("Aw"): dada pelo produto entre o "comprimento efetivo" e a "garganta efetiva".
 - Comprimento efetivo ("lw"): comprimento final que deve ter a solda, devendo coincidir com a largura da peça ligada.
 - Garganta efetiva ("tw"): a garganta efetiva para uma solda de entalhe de penetração total é a menor das espessuras das chapas que recebem a solda em sua borda (para conexões em "T") ou a menor das espessuras das chapas conectadas (para juntas de topo).
- Nariz do chanfro ("f"): porção não chanfrada da espessura da peça

- Profundidade do chanfro (“S”): altura do entalhe de preparação. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015)

Figura 4 - Geometria de junta



Fonte: NBR 10474 (2020)

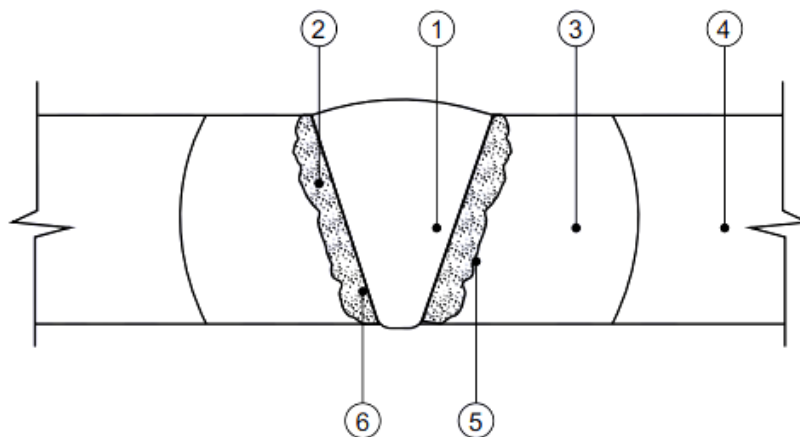
2.3.5 Metais envolvidos no processo

Os metais envolvidos no processo de soldagem, ilustrados pela Figura 5, podem ser classificados como:

- Metal base: “Material a ser soldado, brasado ou cortado”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 3)
- Metal de adição: “Metal a ser adicionado a uma junta para sua soldagem ou brasagem”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 3)

- Metal de solda: “Região fundida durante a soldagem”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 3)

Figura 5 - Face do chanfro e face da raiz



Legenda

1+2	metal de solda
2	zona de fusão
3	zona afetada pelo calor
4	metal de base
5	face de fusão
6	linha de fusão

Fonte: NBR 10474 (2020)

2.4 Perfis laminados de aço para uso estrutural

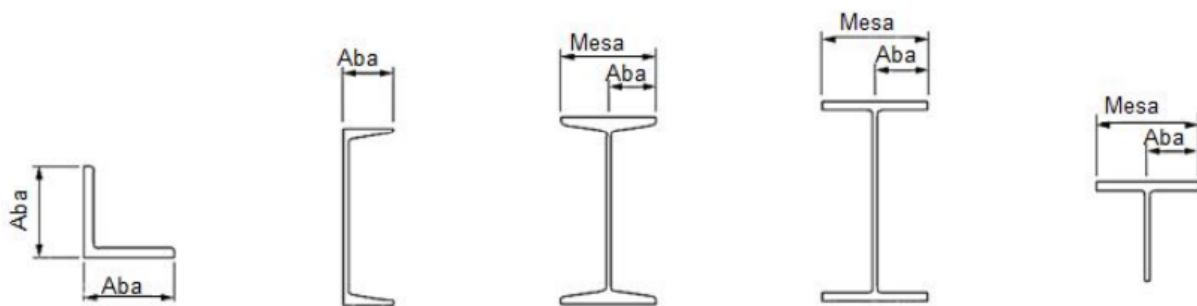
São peças de aço fabricadas pelo processo de laminação que possuem uma seção transversal padronizada, utilizados na construção e criação de estruturas.(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011)

Dentre os principais perfis, destacam-se:

- Perfis W: esse perfil se refere aos perfis I e H que são duplamente simétricos, com as faces de aba paralelas, e com a espessura da alma menor que a espessura das abas.(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2020)
- Perfis I: perfil duplamente simétricos com faces de aba não paralelas que, na superfície interna das abas, possuem uma inclinação aproximada de 16,67% (entre 9° e 10°). A união de duas abas no mesmo plano é chamada de “mesa” e a

porção que une as duas “mesas” de um perfil “I” é chamada de “alma”, pode ser visto na Figura 6. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2020)

Figura 6 - Aba e mesa de cada perfil



Fonte: NBR 15980 (2020)

3 DESENVOLVIMENTO DE EPS PRÉ-QUALIFICADA

Para desenvolver a especificação de procedimento de soldagem a norma brasileira ABNT NBR 5884 apresenta a recomendação que explica o porquê da opção pelas normas americanas para a proposição da EPS:

“Enquanto não existirem Normas Brasileiras para os consumíveis de soldagem, qualificação de procedimentos de soldagem, qualificação de soldadores e ensaios não destrutíveis, devem-se aplicar as especificações da American Welding Society (AWS)”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 6)

Tendo a recomendação acima em mente; segundo a AWS D1.1/D1.1M; para que uma especificação de procedimento de soldagem seja pré-qualificada, os requisitos apresentados pela Tabela 5.1 da mesma norma, apresentada no Anexo A, devem ser atendidos, obrigatoriamente. Além disso, os parâmetros de soldagem listados na Tabela 5.2, apresentada no Anexo B, quando aplicáveis, devem constar na EPS. E no caso das variáveis limitadas, estas devem estar dentro da faixa de tolerância, senão, qualquer modificação nas variáveis essenciais que ultrapasse o que a Tabela 5.2 permite, é exigida a criação de uma nova EPS, ou uma atualização da EPS pré-qualificada ou a qualificação da mesma baseada em teste de acordo com a Cláusula 5 da norma.(AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

A estrutura visual da EPS não tem um formato rígido a ser seguido, portanto pode-se adotar o formato mais conveniente para quem a escreve, como dito seja este o fabricante ou o contratante.(AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

Para tanto a norma supracitada oferece exemplos de modelo. Desse modo, o presente trabalho seguirá o modelo proposto pela norma, o qual está apresentado no Anexo C, cumprindo com cada uma das variáveis essenciais do Anexo B.

3.1 Levantamento de dados

Para dar início ao desenvolvimento da especificação de procedimento de soldagem, deve-se levantar os parâmetros iniciais já conhecidos:

- Espessura máxima do metal base: 8,4 mm
- Espessura mínima do metal base: 5,8 mm
- Processo de soldagem: GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

- A solda é feita no local, na estrutura já montada
- A soldagem é feita em trabalho em altura

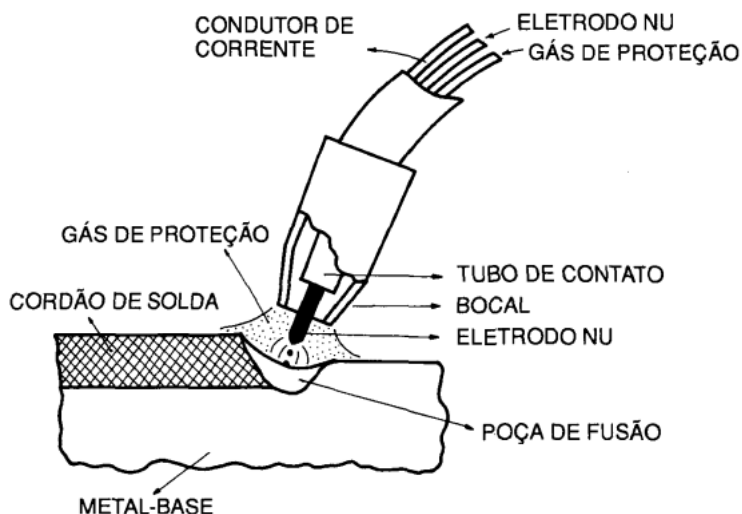
3.2 Processo de soldagem

O processo de soldagem escolhido para a elaboração dessa especificação, foi o GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), também conhecido por MIG/MAG (*MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas*) e ilustrado na Figura 7.

Segundo Marques no livro “Soldagem – Fundamentos e Tecnologia” (2016) e segundo Scotti no livro “Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho” (2014), esse tipo de soldagem tem como vantagens para essa aplicação:

- A alta velocidade de soldagem; uma vez que a solda GMAW é conhecida por sua alta taxa de deposição de metal; o que resulta em uma soldagem mais rápida em comparação com outros processos de soldagem;(SCOTTI; PONOMAREV, 2014)
- O baixo custo operacional; pois a solda GMAW utiliza consumíveis e gases de proteção relativamente baratos; o que a torna uma opção econômica para muitas aplicações;
- Alta qualidade de soldas; pois a solda GMAW produz soldas de alta qualidade, com boa penetração e aparência estética;
- A versatilidade; já que a solda GMAW pode ser usada para soldar uma ampla variedade de materiais; incluindo aços carbono, aços inoxidáveis, alumínio e ligas de níquel, e por fim;
- O baixo índice de respingos; visto que a solda GMAW produz menos respingos em comparação com outros processos de soldagem; o que resulta em menos limpeza pós-soldagem e maior segurança durante a operação. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

Figura 7 - Processo de soldagem MIG/MAG (GMAW)

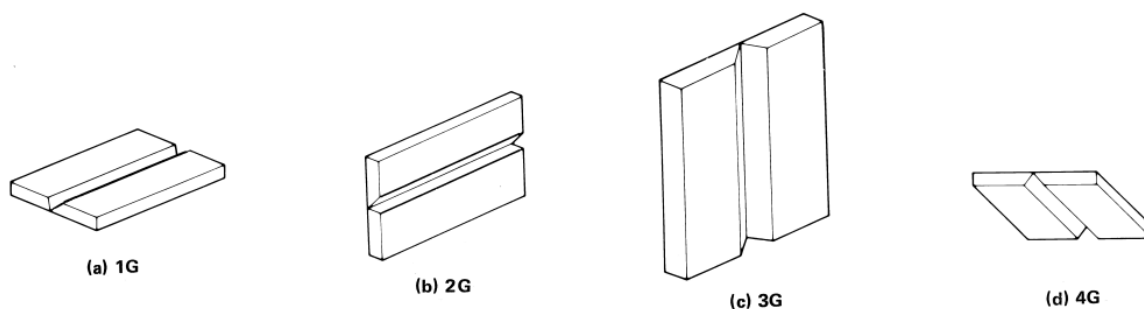


Fonte: Wainer (2004)

3.3 Posição de soldagem

As três posições de soldagem constantes nessa especificação de procedimento de soldagem serão todas planas, no entanto duas serão horizontais e a terceira será vertical, sendo estas definidas pela ASME como posições 1G, 4G e 3G respectivamente, assim como apresentado na Figura 8. (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 2021)

Figura 8 - Posições de soldagem



Fonte: ASME BPVC.IX (2021)

3.4 Modo de transferência

O modo escolhido, foi a transferência por curto-circuito, ilustrado na Figura 9, pois nesse modo a gota formada na ponta do eletrodo, ao tocar a superfície da poça de fusão, adere à essa por conta da tensão superficial; o que torna esse modo de transferência adequado para todas as posições de soldagem. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

Figura 9 - Modo de transferência GMAW por curto-circuito

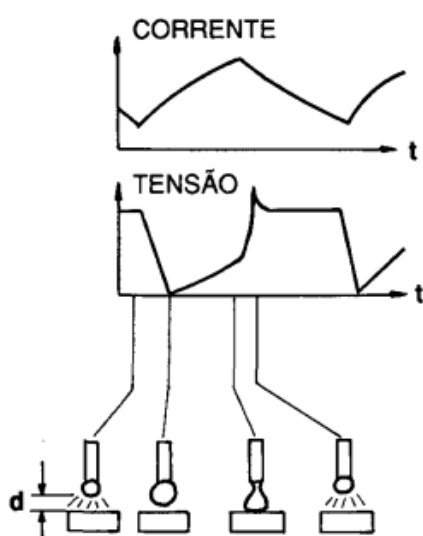


Figura 2.58 — Esquema da transferência metálica por curto-circuito, mostrando o comportamento da tensão da tensão e corrente de soldagem durante a transferência.

Fonte: Wainer (2004)

3.5 Metal base

Para poder ser usado em uma especificação de procedimento de soldagem (EPS), o metal base deve estar listado na Tabela 5.3 da norma AWS D1.1/D1.1M, que pode ser vista no Anexo C. Do contrário, um material cuja composição química não está mencionada entre os aços listados na Tabela 5.3, somente poderá ser usado em uma EPS pré-qualificada, se aprovado por um engenheiro. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

3.5.1 Metal base da linha de vida

A linha de vida trabalhada, foi projetada para ser constituída de uma viga série “I” e perfil W 200 x 26,6 de aço laminado ASTM A572 345MP, cujas propriedades do material podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição ASTM 572 grau 50 (adaptada)

Propriedades	Métrica	Inglesa	Comentários
Densidade	7,85 g/cc	0,284 lb/in ³	
Dureza, Brinell	135	135	
Dureza, Rockwell B	74	74	
Tensão de ruptura	>= 448 MPa	>= 65000 psi	
Limite de escoamento	>= 345 MPa	>=50000 psi	
Deformação na ruptura	>= 16,0 %	>= 16,0 %	Em 8"
	>=19,0 %	>=19,0 %	Em 2" > 24" W
	1,00 t	1,00 t	w33/4" W; ASTM A6 PARA. S14
Bend radius	1,50 t	1,50 t	>3/4 to 1" W; ASTM A6 PARA. S14
	2,50 t	2,50 t	>1 to 1-1/2" W; ASTM A6 PARA. S14
	3,00 t	3,00 t	>1-1/2 to 2" W; ASTM A6 PARA. S14
Carbono, C	<= 0,230 %	<= 0,230 %	
Ferro, Fe	>= 97,93 %	>=97,93 %	
Manganês, Mn	<= 1,35 %	<= 1,35 %	
Fósforo, P	<= 0,040 %	<= 0,040 %	
Silício, Si	<= 0,40 %	<= 0,40 %	
Enxofre, S	<=0,050 %	<=0,050 %	

Fonte: MatWeb (2023)

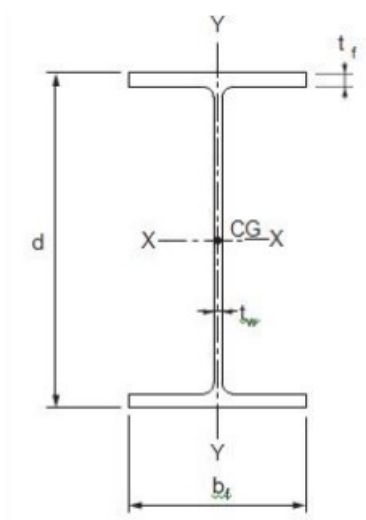
Segundo a norma brasileira ABNT NBR 15980, a viga Figura 11 utilizada apresenta as dimensões de bitola presentes na Tabela 2.

Tabela 2 - Perfil W 200 x 26,6 (adaptada)

Denominação comercial	Referência	Alma		Mesa		Massa
		d	tw	Bf	tf	
Pol x lb/pés	Mm x kg/m	mm	mm	mm	mm	Kg/m
W 8 x 18	W 200 x 26,6	207	5,8	133	8,4	26,6

Fonte: NBR 15980 (2020)

Figura 10 - Perfil W



Fonte: NBR 15980 (2020)

Como esse metal base está listado entre os aços do Grupo II da Tabela 5.3 da norma AWS D1.1/D1.1M, não será necessário para a EPS, que um engenheiro faça a liberação para esse material. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

3.6 Requisitos de Temperatura de Pré-aquecimento e Interpasse

Segundo a norma AWS D1.1/D1.1M, para determinar a temperatura de pré-aquecimento e interpasse do procedimento de soldagem pré-qualificado, deve-se utilizar a Tabela 5.8 da AWS D1.1/D1.1M, Anexo F. Nela encontram-se listados os metais e as temperaturas de pré-aquecimento e de interpasse relacionados às espessuras às quais se aplicam. Caso a tabela indique diferentes temperaturas mínimas de pré-aquecimento para uma determinada junta, deve prevalecer a mais alta. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

Considerando o metal base ASTM 572 grau 50 e as duas espessuras presentes na viga a ser soldada, 5,8 mm e 8,4mm, o pré-aquecimento mínimo pré-qualificado e temperatura entre passes recomendado para a EPS é de 0°C.

3.7 Metais de Adição

Em uma EPS pré-qualificada, somente podem ser utilizados os metais de adição citados na Tabela 5.4 da norma AWS D1.1/D1.1M, Anexo E, e já especificada para o metal base utilizado. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

E para que seja determinada a correspondência correta entre resistência de metal base e metal de adição, as Tabelas 5.3 e 5.4 devem ser utilizadas em conjunto com as relações de resistências da Quadro 1, seção 5.6 da norma AWS D1.1/D1.1M.

Quadro 1- Relação de resistência metal base/metal de adição (adaptada)

Relação	Metais base	Relação de resistência do metal de adição necessárias
Coincidindo	Qualquer aço para si mesmo ou para outro do mesmo grupo	Qualquer metal de adição listado no mesmo grupo
	Qualquer aço de um grupo para qualquer aço de outro	Qualquer metal de adição listado para qualquer grupo de resistência.
Subtração	Qual quer aço para qualquer aço em outro grupo	Qualquer metal de adição listado em um grupo de resistência abaixo do grupo de resistência inferior.

Fonte: AWS D1.1/D1.1M (2020)

Em nota a norma AWS D1.1/D1.1M diz que deve ser vista, também, sua Tabela 4.3 para determinar os requisitos da relação de resistência que haverá entre o metal base e o de adição. A Tabela 4.3 pode ser observada no Anexo F.

Assim, ao comparar as propriedades e composições do metal base e do tipo de eletrodo sugerido pela norma AWS D1.1/D1.1M, determina-se que o metal de adição mais adequado para essa aplicação, considerando o metal base ASTM 572 345MP, é o ER70S-6.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas do metal de adição e gás de solda do eletrodo ER70S-6 (adaptada)

Classificação AWS	Porcentagem mássica												
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	v	Cu	Ti	Zr	Al
ER70S-6	0,06 à 0,15	1,40 à 1,85	0,80 à 1,15	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,50	-	-	-

Fonte: AWS A5.18/A5.18M (2020)

3.8 Diâmetro nominal do eletrodo

Para o modo de transferência de soldagem escolhido, os diâmetros recomendados para o eletrodo podem variar de 0,8 mm à 1,2, o que é considerado um pouco abaixo do convencional. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

Tabela 3 - Composição química do metal de adição selecionado (adaptada)

Classificação AWS		Gás de proteção	Resistência a tração (Mínima)		Limite Elástico (Mínimo)
A5. 18	A5.18M		MPa	Mpa	Deformação percentual
ER70S-2	ER48S-2	CO2	480	400	22
ER70S-3	ER48S-3				
ER70S-4	ER48S-4				
ER70S-5	ER48S-5				
ER70S-6	ER48S-6				
ER70S-7	ER48S-7				

Fonte: AWS A5.18/A5.18M (2020)

Segundo Wainer (2004) dois eletrodos de diferentes diâmetros que estão sob as mesmas condições de soldagem, o de menor diâmetro tende a apresentar maior taxa de deposição e penetração quando comparado ao maior.

Desse modo, considerando que o metal-base a ser soldado é uma estrutura com duas espessuras diferentes, o diâmetro escolhido como o mais adequado para o processo é o eletrodo de diâmetro igual à 1,2 mm, pois ele tem um diâmetro que permite uma boa taxa de deposição para ambas as espessuras com boa penetração.

3.9 Corrente e tensão

A escolha da corrente e da tensão a ser utilizada no processo está intimamente ligada ao modo de transferência e ao diâmetro escolhido para o eletrodo.

E no caso da transferência por curto-circuito, esta é conhecida por operar com baixos valores de corrente e tensão, como mostra a Tabela 4. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

Tabela 4 -Faixa de corrente adequada para cada diâmetro de eletrodo (adaptada)

Material	Diâmetro do eletrodo (mm)	Faixa de corrente (A)
Aço-carbono baixa-liga	0,8	70-180
	1,0	90-220
	1,2	100-270
	1,6	190-360
	2,4	280-490
	3,2	270-580

Fonte: Marques (2016)

Considerando então o diâmetro do eletrodo de 1,2 mm, como escolhido anteriormente, diante de uma faixa de 100 A à 270 A, escolhe-se adotar a corrente intermediária de 250 A.

De modo geral, a transferência por curto-circuito é favorecida por tensões abaixo de 22 V, pois acima desse valor o modo de transferência começa a mudar. Dessa forma, 21 V é uma tensão considerada adequada.

3.10 Tipo de corrente e polaridade

Segundo a norma AWS D1.1/D1.1M de 2020 na cláusula 5.5 está definido que para a EPS ser pré-qualificada, o tipo de soldagem GMAW obrigatoriamente tem que usar fonte de alimentação corrente constante (CC). (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020b)

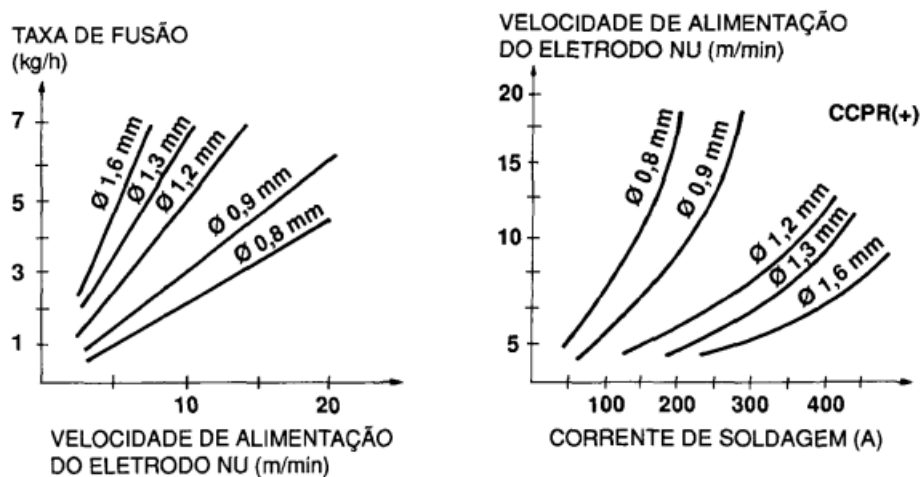
O tipo de polaridade de corrente contínua recomendada para materiais que requerem maior penetração de soldagem, como o aço carbono do metal base em questão, é a polaridade reversa (CCPR).(MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

3.11 Velocidade de soldagem e de alimentação do arame

Para garantir a estabilidade de um processo que utiliza eletrodo consumível, a velocidade de alimentação do arame deve ser igual a velocidade média de fusão dele. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

Na Figura 12 é apresentada a correlação que existe entre a velocidade de alimentação do eletrodo, a taxa de fusão e a corrente de soldagem.

Figura 11 - Correlação entre taxa de fusão, velocidade de alimentação e corrente de soldagem



Fonte: Wainer (2004)

Partindo da correlação apresentada, estipula-se para a EPS, a velocidade de alimentação de 7 m/min.

Nos processos de soldagem GMAW, é possível que a velocidade de soldagem seja aproximadamente igual a velocidade de alimentação do eletrodo, desde que o comprimento do arco seja relativamente constante; de modo em que se iguale a velocidade de alimentação com a de fusão.

3.12 Composição nominal do gás de proteção

Segundo a norma A5.18; para o eletrodo escolhido, deve-se usar como gás de proteção o CO₂ (dióxido de carbono), como pode ser visto na Quadro 2. Sendo que para aços de baixa liga, como o do metal base, o mais indicado em um modo de transferência por curto-circuito é utilizar uma mistura que combine o dióxido de carbono com o argônio. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2020c)

As proporções de misturas mais comuns comercialmente variam de 75% de argônio e 25% de CO₂ à 90% de argônio e 10% de CO₂, dependendo das especificações de soldagem e das condições de trabalho.

Assim a proporção escolhida é de 75% de argônio e 25% de CO₂, pois além de ser a mais comum e mais barata, oferece uma combinação eficaz de proteção do metal fundido, boa estabilidade do arco e penetração adequada.

Quadro 2 - Gases de proteção para os processos MIG e MAG (adaptada)

Gás de proteção	Comportamento químico	Aplicações Típicas
Argônio (A)	inerte	todas a ligas, exceto aços
Hélio (He)	inerte	alumínio, magnésio e cobre; para maiores espessuras e reduzir a porosidade
A+(20 - 80%) hélio	inerte	alumínio, magnésio e cobre: para maiores espessuras e reduzir a porosidade; tem melhor ação que 100% He
A+(1 - 2%) oxigênio	levemente oxidante	aços inoxidáveis e aços ligados
A+(3 - 5%) oxigênio	oxidante	aço carbono e alguns aços de baixa liga
CO ₂	oxidante	aço carbono e alguns aços de baixa liga
A+(20 - 50%) CO ₂	oxidante	aço-carbono (transferência por curto circuito)
A+10%CO ₂ +5%oxigênio	oxidante	aços-carbono (Europa)
CO ₂ +20%oxigênio	oxidante	aços-carbono (Japão)
90%He+7,5%A+2.5%O ₂	levemente oxidante	aços inoxidáveis para boa resistência à corrosão (transferência por curto-circuito)
(60 - 70%)He+(25 - 35%)A+ (4 - 5%)CO ₂	oxidante	aços de baixa liga para boa tenacidade (transferência por curto-circuito)

Fonte: Wainer (2004)

3.13 Taxa de fluxo de gás de proteção

Com base na espessura do material, na taxa de deposição desejada, o diâmetro do eletrodo, a posição da soldagem e as condições ambientais; o fluxo de gás de proteção escolhido foi de 10 l/min. Este valor proporciona uma proteção adequada da poça de fusão, além de equilibrar a taxa de deposição desejada, garantindo eficácia nas diferentes posições de soldagem em que esse processo vai ser realizado. No entanto, é importante seguir as recomendações do fabricante do equipamento e dos materiais de soldagem para garantir a escolha adequada do fluxo de gás.(SCOTTI; PONOMAREV, 2014)

3.14.1 Entalhe adotado

O entalhe pré-qualificado que adotado para essa EPS será o duplo V como apresentado na Figura 19 conforme norma AWS D1.1/D1.1M.

Figura 12 - Ranhura em duplo V com medidas em milímetros

Welding Process		Joint Designation		Base Metal Thickness (U – unlimited)		Groove Preparation		For B-U3c-S only		Notes
								T ₁	T ₂	
SMAW	B-U3b	U	—	R = 0 to 3 f = 0 to 3 $\alpha = \beta = 60^\circ$	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 Not limited +10°, -5°	All	—	d, e, h, j	
GMAW FCAW	B-U3-GF	U	—	R = 0 f = 6 min. $\alpha = \beta = 60^\circ$	+2, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 +6, -0 +10°, -5°	All	Not required	a, d, h, j	
SAW	B-U3c-S	U	—	R = 0 f = 6 min. $\alpha = \beta = 60^\circ$	+2, -0 +6, -0 +10°, -0°	+2, -0 +6, -0 +10°, -5°	F	—	d, h, j	

Fonte: AWS D1.1/D1.1M (2020)

Soldas em formato de "V" são frequentemente utilizadas para emendas de topo em posições planas. A fusão da parede lateral é um pouco mais fácil de tolerar em superfícies inclinadas do que em soldas com chanfro em formato de bisel. E sendo este aplicado dos dois lados, a faixa de espessuras aceitas para o processo, se torna maior, uma vez que permite melhor penetração. (TAMBOLI, 2017)

3.15 Tratamento Térmico Pós-soldagem

Para um tratamento térmico pós-soldagem (PWHT) pré-qualificado, algumas condições devem ser atendidas:

- O metal base especificado não pode ter limite de escoamento mínimo que exceda 345 Mpa.

- A fabricação do metal base não pode passar por têmpera e revenimento, têmpera e auto-revenimento, processamento termomecânico controlado ou onde o trabalho a frio é usado para se obter propriedades mecânicas específicas.
- Testes de tenacidade de entalhe do metal base ou da solda não serão requeridos.
- Deve haver dados que comprovem que o metal de solda terá resistência e ductilidade suficientes na condição PWHT.
- O PWHT deve estar em conformidade com a seção 7.8 da norma AWS D1.1/D1.1M de 2020.

No entanto, na especificação de procedimento de soldagem aqui proposta, não será aplicado tratamento térmico após a soldagem.

4 RESULTADOS

Na Tabela 6, são apresentados os requisitos para especificação de procedimento de soldagem pré-qualificada estipulados na Tabela 5.1 da norma AWS D1.1/D1.1M (2020) e que se aplicam no contexto da EPS desse trabalho:

Tabela 6 - Requisitos para EPS pré-qualificada

Variável	Posição	Tipo de solda	GMAW / FCAW	Está de acordo?	
				Sim	Não
Diâmetro máximo do eletrodo	Horizontal	Filete	3,2 mm	X	
		Chanfro			
	Vertical	Todos	2,4 mm		
Corrente máxima	Todas	Solda de chanfro com abertura de raiz	Dentro da faixa de operação recomendada pelo fabricante do metal de adição	X	
Espessura máxima do passe de raiz	Horizontal	Todos	8 mm	X	
	Vertical		12 mm		
Espessura máxima do passe de enchimento	Todas	Todos	6 mm	X	
Largura máxima de camada em passe único	Todas	Qualquer largura de camada	Para não tubulares, na horizontal divide as camadas quando a largura da camada for $w > 16$ mm e na posição vertical, divide as camadas quando $w > 25$ mm	X	

Fonte: AWS D1.1/D1.1M (2020) (adaptada)

Utilizando o modelo de especificação de procedimento de soldagem (EPS) pré-qualificada sugerido pela norma AWS D1.1/D1.1M (2020) e a lista de variáveis essenciais da Tabela 5.2 da norma como referência, o resultado final obtido está apresentado pelo Apêndice A.

4.1 Discussão de resultado

Ao observar os pontos de união da estrutura já instalada; que serviu de referência para estipular as condições de trabalho e o material a ser soldado na EPS aqui proposta; destacam-se algumas características estéticas negativas, apontadas pela literatura como resultados esperados de um processo cujos parâmetros não estejam adequados. Uma dessas juntas está apresentado na Fotografia 1.

Fotografia 1 - União entre vigas de perfil "w" que compõem o sistema de ancoragem de uma linha de vida rígida horizontal.



Fonte: Autoria própria (2023)

Pode-se visualizar na amostra descontinuidades como, perfil de solda incorreto, mordeduras e falta de penetração no fim dos cordões de solda. Segundo Marques (2016), o termo “descontinuidade” pode ser considerado como uma interrupção ou uma violação da estrutura comum e esperada de uma solda, sendo que essas irregularidades, dependendo do grau com que afetam a integridade da junta, podem requerer ou não medidas corretivas. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2016)

Por mais que as falhas observadas possam não serem danosas à estrutura; a aplicação de um procedimento correto seguindo uma EPS; em especial uma EPS pré-qualificada como a proposta nesse trabalho, mitigaria ou evitaria por completo (a depender da destreza do soldador) quaisquer descontinuidades. Sendo este, então, o propósito do estabelecimento dessa EPS pré-qualificada.

5 CONCLUSÃO

Uma vez que a EPS fora criada cumprindo com todos os requisitos que permitem que ela seja considerada pré-qualificada, conclui-se que os objetivos propostos no presente trabalho foram alcançados.

Ademais, durante o processo de levantamento dos requisitos de pré-qualificação, foi sentida a dificuldade em reunir todos os parâmetros necessários para a montagem da EPS, uma vez que para a definição de alguns deles é requerido um conhecimento mais técnico, adquirido ao longo do tempo com a experiência em soldagem. E além disso a escolha de alguns parâmetros como o diâmetro do eletrodo e algumas características elétricas acaba sendo orientada pelas opções encontradas no mercado.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Indica-se como sugestão, que para criações de novas especificações de procedimento de soldagem (EPS), faça-se com metais base e processos de soldagem diferentes e não somente os que estão listados como pré-qualificados, para que assim surja a necessidade de realizar uma qualificação do procedimento, permitindo uma abordagem mais experimental do tema.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code - Section IX.** , 2021. Disponível em: <www.asme.org/cer>

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS A3.0M/A3.0:2020 - Standard Welding Terms and Definitions.** Danvers, Massachusetts, USA, 2020a.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code - Steel.** Miami, Florida, USA, 2020b.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS A5.18/A5.18M: Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding.** American Welding Society, , 2020c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6215: Produtos siderúrgicos - Terminologia.** 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5884: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico -Requisitos gerais.** , 2013. Disponível em: <www.abnt.org.br>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16325-1: Proteção contra quedas de altura Parte 1: Dispositivos de ancoragem tipos A, B e D.** , 2014. Disponível em: <www.abnt.org.br>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10474: Qualificação em soldagem - Terminologia.** , 2015. Disponível em: <www.abnt.org.br>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14627: Equipamento de proteção individual contra queda de altura — Trava-queda deslizante guiado em linha rígida.** , 2020. Disponível em: <www.abnt.org.br>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15980: Perfis laminados de aço para uso estrutural - Dimensões e tolerâncias.** , 2020. Disponível em: <www.abnt.org.br>

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho.** [s.l: s.n.].

TAMBOLI, A. R. **Handbook of Structural Steel Connection Design and Details.** Third Edition ed. [s.l: s.n.].

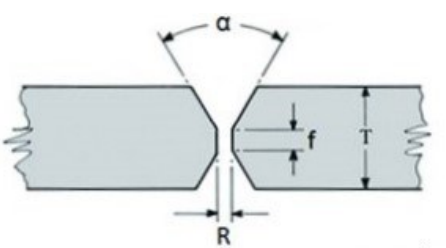
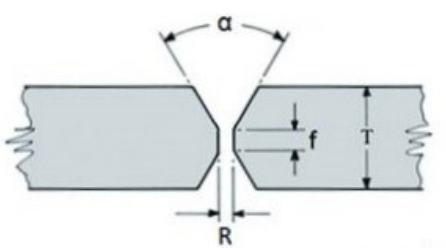
MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem - Fundamentos e Tecnologia**. 4. ed. [s.l.] Grupo GEN, 2016.

APÊNDICE A – Especificação de procedimento de soldagem (EPS) pré-qualificada

Especificação de procedimento de soldagem (EPS) pré-qualificada					
Nome da empresa	-	Apoiando PQR(s)	Não (pré-qualificada)	Data	22/11/2023
Autorizado por				Revisão	1

Metal base	Especificação	Tipo ou grau	N° do grupo AWS	Espessura do metal base	Como soldado	Com PWHT
Material Base	ASTM 572	Grau 50	Grupo II	Soldas de ranhura CJP	5,8 mm e 8,4 mm	-
Soldado a	ASTM 572	Grau 50	Grupo II	Ranhura CJP com CVN	-	-
Material de apoio	-	-	-	Soldas de ranhura PJP	-	-
Outros	-	-	-	Soldas de filete	-	-

Detalhes da junta	
Tipo de ranhura	Duplo "V"
Ângulo de ranhura	60°
Abertura de raiz	2 mm
Face de raiz	-
Backgouging	Nenhum
Técnica	Empurrando
Tratamento térmico após a soldagem	
Temperatura	-
Tempo de aquecimento	-
Procedimento	
Processo	MAG
Modo de transferência	Curto-circuito
Passes de solda	1 (único)
Tipo	Semiautomático
Posição de soldagem	1G, 3G e 4G

Metal de adição	A5.18
Classificação AWS	ER70S-6
Diâmetro do eletrodo	1,2 mm
Nome comercial	ER70S-6
Preenchimento suplementar	-
Composição nominal do gás de proteção	75% de Argônio (Ar) + 25% de Dióxido de carbono (CO ₂)
Taxa de fluxo de gás de proteção	10 L/min
Temperatura de pré-aquecimento	-
Temperatura de Interpasse	-
Características elétricas	
Tipo de corrente	CC
Polaridade da corrente	CCPR (polaridade reversa)
Amperagem	250 A
Voltagem	21 V
Velocidade de alimentação do fio	7 m/min
Velocidade de soldagem	7 m/min
Desenho esquemático da junta	
 <p> $\alpha = 60^\circ$ $f = 0 \text{ mm}$ $R = 2 \text{ mm}$ $T = 8,4 \text{ mm}$ </p>	 <p> $\alpha = 60^\circ$ $f = 0 \text{ mm}$ $R = 2 \text{ mm}$ $T = 5,8 \text{ mm}$ </p>

ANEXO A – Tabela 5.1 da norma AWS D1.1/D1.1M de 2020

Table 5.1
Prequalified WPS Requirements^a (see 5.2)

Variable	Position	Weld Type	SMAW	SAW ^b			GMAW/ FCAW ^c
				Single	Parallel	Multiple	
Maximum Electrode Diameter	Flat	Fillet ^d	5/16 in [8.0 mm]	1/4 in [6.4 mm]			1/8 in [3.2 mm]
		Groove ^d	1/4 in [6.4 mm]				
		Root pass	3/16 in [4.8 mm]				
	Horizontal	Fillet	1/4 in [6.4 mm]	1/4 in [6.4 mm]			1/8 in [3.2 mm]
		Groove	3/16 in [4.8 mm]	Requires WPS Qualification Test			
	Vertical	All	3/16 in [4.8 mm] ^e				3/32 in [2.4 mm]
Overhead	All	3/16 in [4.8 mm] ^e	5/64 in [2.0 mm]				
Maximum Current	All	Fillet	Within the range of operation recommended by the filler metal manufacturer	1000 A	1200A	Unlimited	Within the range of operation recommended by the filler metal manufacturer
	All	Groove weld root pass with opening		600A	700A		
					900A		
					1200A		
		Groove weld fill passes		Unlimited			
Groove weld cap pass	Unlimited						
Maximum Root Pass Thickness ^b	Flat	All	3/8 in [10 mm]	Unlimited			3/8 in [10 mm]
	Horizontal		5/16 in [8 mm]				5/16 in [8 mm]
	Vertical		1/2 in [12 mm]				1/2 in [12 mm]
	Overhead		5/16 in [8 mm]				5/16 in [8 mm]
Maximum Fill Pass Thickness	All	All	3/16 in [5 mm]	1/4 in [6 mm]	Unlimited		1/4 in [6 mm]
Maximum Single Pass Fillet Weld Size ^f	Flat	Fillet	3/8 in [10 mm]	Unlimited			1/2 in [12 mm]
	Horizontal		5/16 in [8 mm]	5/16 in [8 mm]	5/16 in [8 mm]	1/2 in [12 mm]	3/8 in [10 mm]
	Vertical		1/2 in [12 mm]				1/2 in [12 mm]
	Overhead		5/16 in [8 mm]				5/16 in [8 mm]
Maximum Single Pass Layer Width	All (for GMAW/ FCAW) F & H (for SAW)	Root opening > 1/2 in [12 mm]		Split layers	Laterally displaced electrodes or split layer	Split layers	Split layers
		Any layer of width, w		Split layers if w > 5/8 in [16 mm]	Split layers with tandem electrodes if w > 5/8 in [16 mm]	Split layers if w > 1 in [25 mm]	(Footnote g)

^a Shaded area indicates nonapplicability.

^b See 5.8.2.1 for width-to-depth limitations.

^c GMAW-S shall not be prequalified.

^d Except root passes.

^e 5/32 in [4.0 mm] for EXX14 and low-hydrogen electrodes.

^f See 5.6.2 for requirements for welding unpainted and exposed ASTM A588.

^g In the F, H, or OH positions for nontubulars, split layers when the layer width, w > 5/8 in [16 mm]. In the vertical position for nontubulars or the flat, horizontal, vertical, and overhead positions for tubulars, split layers when the width, w > 1 in [25 mm].

ANEXO B – Tabela 5.2 da norma AWS D1.1/D1.1M de 2020

Table 5.2
Essential Variables for Prequalified WPSs (see 5.2.1)

Variables that must be included in a Prequalified WPS	
(1) Welding Process(es) ^a	(12) Mode of Transfer (GMAW)
(2) Welding Position(s)	(13) Type of Current (AC or DC)
(3) Base Metal Group Number(s) (See Table 5.3)	(14) Current Polarity (AC, DCEN, DCEP)
(4) Base Metal Preheat Category(s) (See Table 5.4)	(15) Wire Feed Speed (SAW, FCAW, GMAW)
(5) Filler Metal Classification (SMAW, GMAW, FCAW)	(16) Travel Speed
(6) Filler Metal/Flux Classification (SAW)	(17) Nominal Shielding Gas Composition (FCAW-G, GMAW)
(7) Nominal Electrode Diameter	(18) Shielding Gas Flow Rate (FCAW-G, GMAW)
(8) Number of Electrodes (SAW)	(19) Weld Type (Fillet, CJP, PJP, Plug, Slot)
(9) Electrode Spacing and Orientation (SAW)	(20) Groove Weld Details
(10) Amperage (SAW, FCAW, GMAW)	(21) Postweld Heat Treatment
(11) Voltage (SAW, FCAW, GMAW)	

Variable Tolerances for Prequalified WPSs	
Variable	Allowable tolerance
(22) Amperage (SAW, FCAW, GMAW)	+ or – 10%
(23) Voltage (SAW, FCAW, GMAW)	+ or – 15%
(24) Wire Feed Speed (if not amperage controlled) (SAW, FCAW, GMAW)	+ or – 10%
(25) Travel Speed (SAW, FCAW, GMAW)	+ or – 25%
(26) Shielding Gas Flow Rate (FCAW-G, GMAW)	> 50%, if increase or > 25%, if decrease
(27) Change in the longitudinal spacing of arcs (SAW)	> 10% or 1/8 in [3 mm], whichever is greater
(28) Lateral spacing of arcs (SAW)	> 10% or 1/8 in [3 mm], whichever is greater
(29) The angular orientation of parallel electrodes (SAW)	+ or – 10%
(30) The angle parallel to the direction of travel of the electrode for mechanized or automatic (SAW)	+ or – 10%
(31) The angle of electrode normal to the direction of travel for mechanized or automatic (SAW)	+ or – 10%

^a A separate WPS shall be required when this variable is changed.

**ANEXO C – Exemplo de EPS pré-qualificada sugerido norma AWS D1.1/D1.1M
de 2020**

**ANEXO D – Tabela 5.3 da norma AWS D1.1/D1.1M de 2020 para o metal base
ASTM A572 345MP**

Table 5.3 (Continued)
Approved Base Metals for Prequalified WPSs (see 5.3)

G R O U P	Steel Specification Requirements					
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
II	ASTM A36	All thicknesses	36	250	58–80	400–550
	ASTM A131	Grades AH32, DH32, EH32	46	315	64–85	440–590
		Grades AH36, DH36, EH36	51	355	71–90	490–620
	ASTM A501	Grade B	50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A516	Grade 65	35	240	65–85	450–585
		Grade 70	38	260	70–90	485–620
	ASTM A529	Grade 50	50	345	65–100	450–690
		Grade 55	55	380	70–100	485–690
	ASTM A537 Class 1	≤ 2 ½ in [≤ 65 mm]	50	345	70–90	485–620
		> 2 ½ [65 mm] ≤ 4 in [100 mm]	45	310	65–85	450–585
	ASTM A572	Grade 42	42	290	60 min.	415 min.
		Grade 50	50	345	65 min.	450 min.
		Grade 55	55	380	70 min.	485 min.
	ASTM A588 ^b	≤ 4 in [100 mm]	50	345	70 min.	485 min.
		> 4 in [100 mm] ≤ 5 in [125 mm]	46	315	67 min.	460 min.
		> 5 in [125 mm] ≤ 8 in [200 mm]	42	290	63 min.	435 min.
		All Shapes	50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A595	Grade A	55	380	65 min.	450 min.
		Grades B and C	60	410	70 min.	480 min.
	ASTM A606 ^b	Cold-rolled Grade 45	45	310	65 min.	450 min.
		Hot-rolled Grade 50 (AR)	50	340	70 min.	480 min.
		Hot-rolled Grade 50 (A or N)	45	310	65 min.	450 min.
	ASTM A618	Grades Ib, II wall ≤ ¾ in [19 mm]	50	345	70 min.	485 min.
		Grades Ib, II wall > ¾ in ≤ 1-1/2 in [> 19 mm ≤ 38 mm]	46	315	67 min.	460 min.
		Grade III	50	345	65 min.	450 min.
	ASTM A633	Grade A	42	290	63–83	430–570
		Grades C, D	50	345	70–90	485–620
		≥ 2-1/2 in [65 mm]				
	ASTM A709	Grade 36 Plates ≤ 4 in [100 mm]	36	250	58–80	400–550
		Grade 36 Shapes ≤ 3 in [75 mm]	36	250	58–80	400–550
		Grade 36 Shapes > 3 in [75 mm]	36	250	58 min.	400 min.
		Grade 50	50	345	65 min.	450 min.
	Grade 50W ^b	50	345	70 min.	485 min.	
	Grade 50S	50–65	345–450	65 min.	450 min.	
	Grade HPS 50W ^b	50	345	70 min.	485 min.	
ASTM A710	Grade A, Class 2 > 2 in ≤ 4 in [> 50 mm ≤ 100 mm]	55	380	65 min.	450 min.	
	> 4 in [100 mm]	50	345	60 min.	415 min.	
ASTM A847		50	345	70 min.	485 min.	
ASTM A913	Grade 50	50	345	65 min.	450 min.	
ASTM A992		50–65	345–450	65 min.	450 min.	
ASTM A1008 HSLAS	Grade 45 Class 1	45	310	60 min.	410 min.	
	Grade 45 Class 2	45	310	55 min.	380 min.	
	Grade 50 Class 1	50	340	65 min.	450 min.	
	Grade 50 Class 2	50	340	60 min.	410 min.	
	Grade 55 Class 1	55	380	70 min.	480 min.	
	Grade 55 Class 2	55	380	65 min.	450 min.	

(Continued)

ANEXO E – Tabela 5.4 da norma AWS D1.1/D1.1M de 2020 para o grupo II de metal base

Table 5.4 (Continued)
Filler Metals for Matching Strength for Table 5.3, Group II Metals—FCAW and GMAW Metal Cored (see 5.6)

WELDING PROCESS(ES)							
Base Metal Group	AWS Electrode Specification	GMAW		FCAW		Carbon Steel GMAW and FCAW	Carbon & Low-Alloy Steel GMAW and FCAW
		A5.18, Carbon Steel	A5.28 ^a , Low-Alloy Steel	A5.20, Carbon Steel	A5.29 ^a , Low-Alloy Steel	A5.36, Fixed Classification ^b	A5.36 ^c Open Classification ^d See Note 8 for Annex M
II	AWS Electrode Classification	ER70S-X E70C-XC E70C-XM (Electrodes with the –GS suffix shall be excluded)	ER70S-XXX E70C-XXX	E7XT-X E7XT-XC E7XT-XM (Electrodes with the –2C, –2M, –3, –10, –13, –14, and –GS suffix shall be excluded and electrodes with the –11 suffix shall be excluded for thicknesses greater than 1/2 in [12 mm])	E7XTX-X E7XTX-XC E7XTX-XM	FCAW Carbon Steel E7XT-1C E7XT-1M E7XT-5C E7XT-5M E7XT-9C E7XT-9M E7XT-12C E7XT-12M E70T4 E7XT-6 E7XT-7 E7XT-8 (Flux Cored Electrodes with the T1S, T3S, T10S, T14S, and –GS suffix shall be excluded and electrodes with the T11 suffix shall be excluded for thicknesses greater than 1/2 in [12 mm])	FCAW Carbon Steel E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 E7XTX-XAX-CS3 FCAW Low-Alloy Steel E7XTX-AX-XXX E7XTX-XAX-XXX
					GMAW-Metal Cored Carbon Steel E70C-6M (Electrodes with the –GS suffix shall be excluded) (NOTE: A5.36 does not have fixed classifications for other carbon steel metal cored electrodes or for low-alloy steel flux cored or metal cored electrodes)	GMAW-Metal Cored Carbon Steel E7XTX-XAX-CS1 E7XTX-XAX-CS2 (Electrodes with the –GS suffix shall be excluded) GMAW-Metal Cored Low-Alloy Steel E7XTX-XAX-XXX	

ANEXO F – Tabela 4.3 da norma AWS D1.1/D1.1M de 2020 para solda de penetração completa

Table 4.3
Allowable Stresses (see 4.6.4 and 4.16.1)

Type of Applied Stress	Allowable Stress	Required Filler Metal Strength Level
CJP Groove Welds		
Tension normal to the effective area ^a	Same as base metal	Matching filler metal shall be used ^b
Compression normal to effective area	Same as base metal	Filler metal with a strength level equal to or one classification (10 ksi [70 MPa]) less than matching filler metal may be used.
Tension or compression parallel to axis of the weld ^c	Not a welded joint design consideration	Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal may be used
Shear on effective area	0.30 × classification tensile strength of filler metal except shear on the base metal shall not exceed 0.40 × yield strength of the base metal	