

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDREI SANTANA FAGUNDES

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE INSPEÇÃO DE SOLDAGEM EM
ESTRUTURAS DE SUPORTAÇÃO PARA TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2022

ANDREI SANTANA FAGUNDES

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE INSPEÇÃO DE SOLDAGEM EM
ESTRUTURAS DE SUPORTAÇÃO PARA TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS**

**Study of the Implementation of Welding Inspection in Structures for Industrial
Piping Supportation.**

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

Orientador: Prof. Dr. Haroldo Lhou Hasegawa

LONDRINA

2022



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

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

ANDREI SANTANA FAGUNDES

**ESTUDO DA IMPLEMENTAÇÃO DE INSPEÇÃO DE SOLDAGEM EM
ESTRUTURAS DE SUPORTAÇÃO PARA TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS**

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

Data de aprovação: 10/junho/2022

Amadeu Lombardi Neto
Doutorado em Engenharia Metalúrgica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Roger Nabeyama Michels
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Haroldo Lhou Hasegawa
Doutorado em Engenharia de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais e irmão que me apoiaram e me incentivaram desde o início e me deram condições de alcançar essa conquista.

Aos meus colegas e amigos de estudo e trabalho, pelo companheirismo e ajuda ao longo dos desafios dessa jornada.

Ao meu superior de trabalho Argel Schuster pela ajuda e apoio durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Haroldo Hasegawa, pela orientação e dedicação.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e o seu corpo docente, sempre comprometidos com a qualidade e excelência do ensino.

A todos aqueles que conheci e que participaram da minha formação profissional, dentro e fora da universidade, que não será possível citar o nome de mas com certeza não esquecerei dos momentos e aprendizados compartilhados.

RESUMO

Em vista da importância dos processos de caldeiraria em grandes indústrias, o controle de qualidade e implementação de procedimentos e normas tem se tornado cada vez mais essencial. O presente trabalho buscou avaliar, por meio da coleta de dados de campo, processos de soldagem, com o objetivo de identificar os principais problemas encontrados na fabricação de estruturas metálicas em uma indústria de papel e celulose localizada no estado do Paraná. O estudo resultou na elaboração de um procedimento qualificado para soldagem das estruturas, segundo a norma ASME IX, posteriormente aplicado na fabricação industrial avaliada. Deste modo, uma melhoria significativa no controle de qualidade foi observado com a aplicação do estudo, reduzindo em 100% retrabalhos por defeitos de soldagem, uma vez que os procedimentos possibilitaram a implementação de uma inspeção e instrução da execução do processo de soldagem das peças fabricadas, evidenciada nos relatórios apresentados.

Palavras-chave: Procedimento. Controle de qualidade. Caldeiraria. Qualificação. Ensaios.

ABSTRACT

From the importance of metalworking processes in big industries, quality control and the implementation of procedures and standardizations has become even more essential. The present study has aimed to evaluate, through field data collection, welding processes, with the objective of identifying the major problems found in the factoring of metallic structures in a paper and pulp industry located in the north of Parana state. The study resulted on the elaboration of a qualified procedure, by the ASME IX standard, lately applied on the factoring of the structures itself. Therefore, a significant improvement in quality control has been observed applying the study, reducing 100% of repairs caused by welding imperfections, since the procedures allowed an inspection and instruction implementation in the structures production, showed on the reports presented.

Keywords: Procedure. Quality control. Metalworking. Qualification. Testing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Configuração de uma calandra com três cilindros	19
Figura 2 – Classificação dos processos de soldagem por fusão	20
Figura 3 – Desenho esquemático do equipamento para eletrodo revestido	27
Figura 4 – Alguns tipos de suportes com restrição de movimentos	30
Figura 5 – Ensaio de dobramento	34
Figura 6 – Ensaio de tração	35
Figura 7 – Princípio de inspeção por líquido penetrante	36
Fotografia 1 – Fratura no cordão de solda	42
Fotografia 2 – Ponto de solda irregular, com distorção de peça	43
Figura 8 – Croqui da junta elaborado	44
Figura 9 – Posição de soldagem 3G ascendente, segundo ASME IX	45
Fotografia 3 – Corpos de prova preparados para ensaio de tração	51
Fotografia 4 – Corpos de prova preparados para ensaio de dobramento	52
Fotografia 5 – Corpos de prova após ensaio de tração	53
Fotografia 6 – Corpos de prova após ensaio de dobramento	54
Fotografia 7 – Suporte aprovado pelo ensaio LP	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos processos de fabricação	17
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do processo TIG.....	22
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do processo MIG/MAG	24
Quadro 4 – Tipo e materiais componentes do fluxo	28
Quadro 5 – Especificações dos projetos	40
Quadro 6 – Parâmetros elétricos definidos para qualificação	48
Quadro 7 – Parâmetros de técnica de soldagem definidos para qualificação...50	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Polaridades utilizadas para diferentes metais no processo TIG	23
Tabela 2 – Gases de proteção e aplicações	26
Tabela 3 – Especificações AWS para classificação de eletrodos revestidos	29
Tabela 4 – Definição das variáveis de processo conforme ASME SECTION IX.	32

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	Instituto Americano de Ferro e Aço (<i>American Iron and Steel Institute</i>)
ASME	Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (<i>American Society of Mechanical Engineers</i>)
AWS	Sociedade Americana de Soldagem (<i>American Welding Society</i>)
CNC	Comando Numérico Computadorizado
DIN	Instituto Alemão de Normatização (<i>Deutsches Institut für Normung</i>)
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPS	Especificação de Procedimento de Soldagem
ETAC	Estação de Tratamento de Água para Caldeira
FBTS	Federação Brasileira de Tecnologia de Soldagem
GMAW	Soldagem a arco metálico com gás (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)
GTAW	Soldagem a arco de Tungstênio com gás (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>)
ISO	Organização Internacional de Padronização (<i>International Organization for Standardization</i>)
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
NBR	Norma Brasileira
RQPS	Registro de Qualificação de Procedimentos de Soldagem
SMAW	Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivo	13
1.1.1	Objetivos específicos.....	14
1.2	Justificativa	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Caldeiraria	16
2.1.1	Conformação mecânica.....	17
2.1.1.1	<u>Processos de corte</u>	<u>18</u>
2.1.1.2	<u>Processo de calandragem</u>	<u>19</u>
2.1.2	Soldagem	20
2.1.2.1	<u>Processo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)</u>	<u>21</u>
2.1.2.2	<u>Processo GMAW (Gas Metal Arc Welding)</u>	<u>24</u>
2.1.2.3	<u>Processo SMAW (Shielded Metal Arc Welding)</u>	<u>26</u>
2.2	Estruturas metálicas	30
2.3	Métodos de qualificação e inspeção de soldagem	31
2.3.1	Registro e qualificação de procedimentos	32
2.3.2	Ensaio destrutivo	33
2.3.3	Ensaio não-destrutivo	35
3	METODOLOGIA	37
3.1	Classificação da pesquisa	37
3.2	Definição do problema e objeto do estudo	37
3.3	Implementação do trabalho	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	Identificação dos problemas	39
4.2	Definição das variáveis de soldagem	43
4.2.1	Croqui da junta	44
4.2.2	Posição e progressão de soldagem	44
4.2.3	Consumíveis e gases de proteção	45
4.2.4	Parâmetros elétricos.....	47
4.2.5	Controle da temperatura.....	48
4.2.6	Técnica de soldagem	49
4.3	Qualificação do procedimento elaborado	50
4.3.1	Definição dos corpos de prova	51

4.3.2	Ensaio não destrutivo – END.....	52
4.3.3	Ensaio mecânico – Tração e dobramento	53
4.4	APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO NA FABRICAÇÃO	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
6	ESTUDOS FUTUROS.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58
	ANEXO A - Relatório fotográfico de inspeção inicial	61
	ANEXO B - Especificação de Procedimento de Soldagem – EPS ..	65
	ANEXO C - Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem	
	- RQPS 68	
	ANEXO D - Relatório de inspeção final.....	73

1 INTRODUÇÃO

A caldeiraria industrial pode ser definida como um conjunto de processos de fabricação de componentes e estruturas, utilizando-se de processos de conformação mecânica e soldagem, basicamente, de chapas metálicas e que está presente nos mais diversos setores industriais, fazendo parte da manufatura de diversos produtos, tendo participação em diversos ramos da atividade econômica, que vai desde silos para armazenamento de grãos e insumos agrícolas até componentes da indústria petroquímica.

O termo caldeiraria teve origem na França, em meados do século XIV, com os latoeiros que fabricavam utensílios de cobre e latão e que com o passar do tempo receberam a denominação de caldeireiros, que então passaram a fabricar componentes para indústria de vapor, até que 1915 a caldeiraria passou a fazer uso, também, de ligas de aço inoxidável.

Os principais produtos da caldeiraria são estruturas metálicas, tubulações industriais, tanques e vasos de pressão dentre outros artefatos que dão suporte para que os processos industriais sejam executados. Contudo, apesar de sua importância, é dado pouco valor à caldeiraria dentro da cadeia produtiva, pois são considerados apenas como sistemas auxiliares ou secundários.

Porém, para que se tenha um processo produtivo isento de problemas e também que estes ocorram de forma produtiva e econômica, torna-se importante salientar que os componentes oriundos de uma caldeiraria necessitam de um controle de qualidade baseado em procedimentos e normas para a fabricação de estruturas e componentes afim de atender requisitos bastantes severos durante o seu uso ao longo do seu ciclo de vida.

Dentro deste conceito, sabe-se que Juran (1951) defendia que a qualidade deve se basear em planejamento, controle e melhoria, estabelecendo metas, determinando as necessidades dos clientes e desenvolvendo processos capazes de produzir o produto final, que em seguida devem ser propostos métodos de controle avaliados e melhorados continuamente, independentemente do tipo de serviço ou fabricação de um produto.

A gestão de qualidade, comprometida com a qualidade dos seus serviços e produtos, vem se modernizando e se adequando, ao longo dos últimos

anos, às necessidades humanas e ao contexto social (PIZONI; SILVA; PALADINI, 2018).

Desse modo, o estabelecimento de um conjunto de normas e de procedimentos para os diversos processos de fabricação deve sempre estar presente a fim de garantir segurança e confiabilidade dos produtos e dos componentes, que muitas vezes atendem processos críticos que podem representar riscos se presentes defeitos e falhas de fabricação.

Dentro deste contexto, o presente trabalho buscou avaliar os processos de fabricação via caldeiraria, com o objetivo de identificar os principais problemas encontrados na montagem mecânica das estruturas metálicas utilizadas como suporte para tubulações em uma indústria de papel e celulose localizada no estado do Paraná

Neste cenário, buscou-se propor procedimentos adequados para solução dos problemas identificados e implementar um controle de qualidade efetivo e replicável. Assim, possibilitando a redução dos custos operacionais com mão de obra e materiais e programando melhor as paradas para manutenção, haja visto que em muitos casos a falha dessas estruturas de suportaçõ foi um dos motivos de paradas corretivas antes da implementação do controle de qualidade.

O trabalho foi dividido em uma contextualização do tema, uma revisão bibliográfica dos principais conceitos necessários para a abordagem do problema e então a metodologia empregada. Por fim, uma aplicação, análise e discussão dos principais resultados.

1.1 Objetivo

Este trabalho teve como objetivo central identificar os principais problemas observados em processos de caldeiraria para fabricação de estruturas de suportaçõ de tubulações industriais, especificamente dentro dos processos de soldagem, e propor procedimentos de qualificação, execução e inspeção para garantir um controle de qualidade efetivo.

1.1.1 Objetivos específicos

Para os objetivos específicos do presente trabalho de conclusão de curso, foram desenvolvidas as seguintes análises e propostas:

- Identificar dos principais defeitos de solda nos processos de fabricação de suportes de tubulação;
- Definir de uma especificação de procedimento de execução de soldagem e um método de inspeção;
- Definir de um procedimento de qualificação para o procedimento elaborado;
- Avaliar das condições operacionais e impactos na execução do projeto.

Para este trabalho também foi realizado, ainda, um breve estudo dos processos de fabricação e seus impactos na montagem de campo e na execução de projetos de tubulações industriais para uma indústria de papel e celulose instalada no norte do estado do Paraná.

1.2 Justificativa

A justificativa do trabalho constituiu em estabelecer um controle de qualidade e procedimentos padronizados, a fim de garantir que as exigências impostas por clientes e normas para execução de projetos fossem atingidas. Além disso, a implantação e padronização de processos evitou desperdícios, oneração de mão de obra e custos com retrabalho e com isso diminuindo drasticamente paradas de manutenções corretivas em função das falhas destes suportes, impactando diretamente no faturamento e desempenho das empresas e na economia, de uma maneira geral.

Sabe-se que por meio da inspeção e controle efetivos sobre os processos e operações produtivos, os custos de produção são consideravelmente reduzidos, ressalta Chand (2001), entre outros aspectos que garantem a importância e efeito do controle de qualidade. Juran (1951) já ressaltava em suas pontuações, conhecidas como a “Trilogia de Juran”, que a qualidade se fundamenta em planejamento, controle e melhoria, sendo

necessários para garantir a satisfação nos produtos o estabelecimento de procedimentos com o controle e a melhoria contínua.

Embasado nesses princípios, a implementação deste trabalho teve como meta identificar problemas inerentes aos processos de caldeiraria em uma indústria do setor de papel e celulose do Paraná e definir, especificamente para os processos de soldagem, procedimentos de execução e de inspeção, uma vez que é observado que a ausência dos pontos supracitados além de gerar atrasos promove desperdícios de material e mão de obra para execução de ações corretivas, ou seja, a deficiência de procedimentos de inspeção gera uma série de problemas que se propagam na cadeia produtiva e impactam o produto final e que, em casos mais graves, podem levar a falhas de operação e interrupção da produção da fábrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caldeiraria

Caldeiraria industrial é o termo que define um setor da indústria responsável pela produção de peças metálicas para atender requisitos de montagem de componentes variados e que, segundo Paulo Samuel de Almeida (2014), consiste em um conjunto de habilitações profissionais e de técnicas de aplicação para fabricação de peças pelo uso de materiais metálicos. Dentro do contexto deste trabalho, refere-se às áreas de chaparia, funilaria, e chaparia pesada, que englobam processos de fabricação mecânica necessários para produção das estruturas metálicas de fixação e suportação para tubulações que atendem processos dentro da indústria.

A norma brasileira ABNT NBR 15151 que determina a qualificação e certificação para a profissão de caldeireiro montador exige que os profissionais que atuam na área de caldeiraria, preencham os seguintes requisitos, elencados no livro de Paulo Samuel de Almeida (2014), para atuar na  rea:

- Utilizar EPIs e seguir procedimentos e/ou normas de segurança, conforme o trabalho;
- Executar serviços de caldeiraria na fabricao, recuperao, pré-montagem e desmontagem de peças, equipamentos, estruturas metálicas e tubulaes a partir de desenhos, croquis, amostras, esquemas e especificaes;
- Executar serviços de conformao a frio ou a quente de materiais metálicos;
- Executar desenvolvimento e planificao de peças;
- Executar cortes de materiais por diversos processos;
- Operar máquinas de caldeiraria;
- Executar movimentação e/ou elevação de materiais, peças e equipamentos;
- Identificar e selecionar materiais utilizados em caldeiraria;
- Executar operaes de traçar, marcar, furar, cortar e desbastar;
- Selecionar e utilizar ferramentas de caldeiraria e tubulao;

- Executar testes hidrostáticos ou pneumáticos em equipamentos e tubulações;
- Pontear peças pelo processo de soldagem;
- Executar, sempre que necessário, atividades complementares, facilitadoras ou fundamentais à execução de suas tarefas principais, desde que habilitado.

Os processos de corte e dobra, juntamente aos processos de soldagem, são as principais atividades da caldeiraria, e devem ser estudados para se obter completo entendimento e aplicação de métodos de controle de qualidade.

2.1.1 Conformação mecânica

O termo genérico “conformação mecânica” designa, dentro da engenharia, o conjunto de processos de fabricação de peças e componentes por meio de deformação plástica, como descrito por Helman e Cetlin (2015). Tais processos de fabricação são estrategicamente vitais e fazem parte de muitas áreas de aplicação, podendo produzir peças finais, já acabadas, ou fazer parte de uma cadeia de manufatura, muito presente em processos de caldeiraria, que incluem a fabricação e montagem de estruturas e componentes.

Em termos gerais, a fabricação e montagem de componentes metálicos podem ser classificadas em cinco áreas simplificadas, descritas por Altan (1972) como no Quadro 1:

Quadro 1 – Classificação dos processos de fabricação

Nº	Classificação dos processos de fabricação
1	Processos para formas primárias em metais, incluindo processos como fundição, coquilhamento, metalurgia do pó e lingotamento, em que o material não possui forma definida, que é adquirida ao final do processo.
2	Processos de conformação dos metais, incluindo laminação, forjamento à quente e a frio, extrusão e dobramento, em que o metal é conformado por meio de deformação plástica.
3	Processos de usinagem, tais como corte em serra, fresamento, brochamento e torneamento, em que a forma é adquirida por meio da remoção de material.
4	Processos de tratamento dos metais, incluindo tratamentos térmicos, anodização e endurecimento superficial, em que a forma do material não se altera, primordialmente, sofrendo apenas mudanças de aparência e propriedades.
5	Processos de união, incluindo união física, obtidas por processos de soldagem ou por difusão e união mecânica, incluindo rebitamento e montagem mecânica, por exemplo.

Fonte: Adaptado de Altan (1972)

Dentre esses processos, o corte e dobra de chapas e os diversos processos de soldagem constituem a maior parte dos meios de fabricação de peças e estruturas na área de caldeiraria, em que boa parte deles é feita diretamente no campo de aplicação ou em chão de fábrica, sendo processos relativamente simples, mas que demandam planejamento e controle de qualidade.

2.1.1.1 Processos de corte

Os processos de corte para chapas e perfis laminados, aplicados na fabricação de estruturas metálicas, podem ser do tipo mecânico, quando utilizados ferramentas rotativas ou guilhotinas ou serras, e também do tipo térmico, quando utilizado oxigás, laser ou plasma, do tipo eletroerosão e, por final, do tipo abrasão, utilizando jato d'água acrescido de partículas abrasivas.

Na ótica de Ebisui (1993), para indústrias do setor, o processo de corte térmico é o mais utilizado para chapas espessas, tais como oxicorte, plasma e laser. Esses processos de corte geralmente possuem o objetivo de preparar o material para processos subsequentes de conformação, tais como a calandragem, dobramento e soldagem.

Dentro deste contexto, Joaquim (1994) define o processo de oxicorte como sendo o seccionamento de metais pela combustão localizada e contínua, gerada pela ação de um jato de gás oxigênio de elevada pureza que age sobre um ponto do material previamente aquecido por uma chama de oxi-combustível. O princípio de ação desse processo se dá pelo fato do ferro se oxidar na presença do oxigênio atmosférico, sendo acelerada a altas temperaturas. Neste processo, geralmente se utiliza de um maçarico, gás oxigênio e gás acetileno para combustão e execução do processo de corte. Esse processo é muito utilizado para corte e preparação de chapas e perfis laminados em processos de caldeiraria, junto a processos de corte por abrasão e ferramentas rotativas.

Em algumas aplicações da caldeiraria pesada, as operações de corte podem também ser realizadas via plasma, controlado mecanicamente ou totalmente automatizado, por meio de comando numérico computadorizado

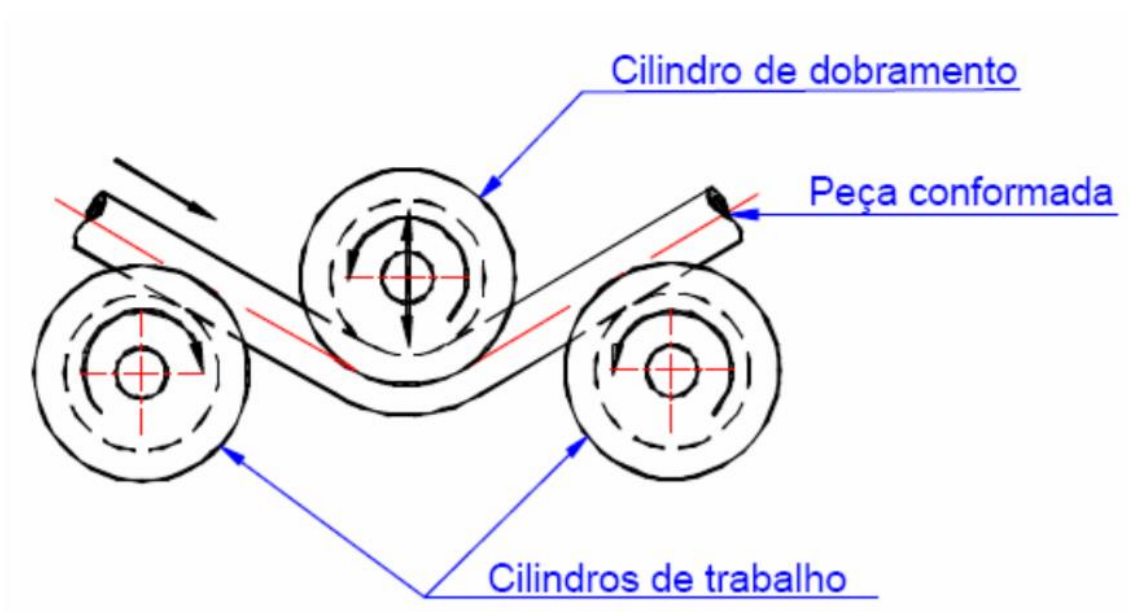
(CNC), mas em qualquer das situações apresenta um ótimo rendimento além de um excelente acabamento.

2.1.1.2 Processo de calandragem

Muitas das estruturas de fixação, principalmente estruturas de suportação para tubulações, necessitam, em suas cadeias de manufatura, de processos de conforma o como a calandragem para atingirem suas formas finais. O processo de calandragem pode ser definido como uma opera o de curvamento de chapas pela aplica o de deforma es permanentes para determinados raios de curvatura.

González (2000) destaca que em calandras convencionais, existem arranjos de três roldanas ou mais, que possuem movimento giratório. Na configura o com três roldanas, o de localiza o central é direcionado de modo perpendicular ao tubo, enquanto que os cilindros adjacentes nas posi es inferiores estão em um plano horizontal, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Configura o de uma calandra com três cilindros



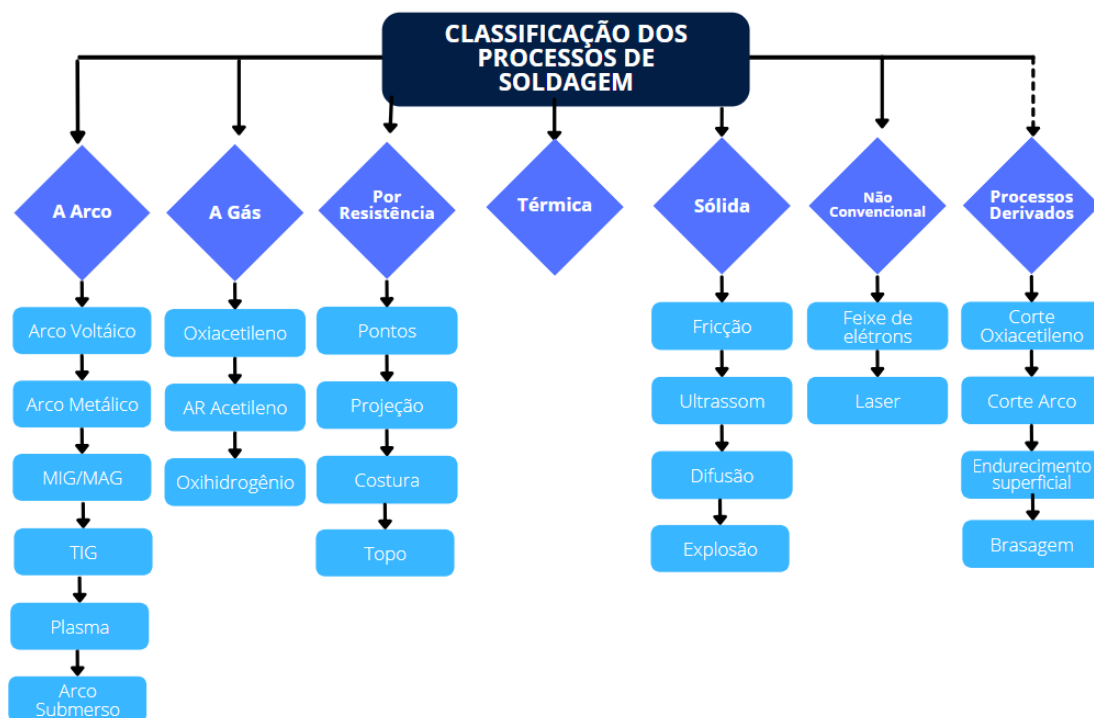
Fonte: González (2000, p.5)

2.1.2 Soldagem

A soldagem é um dos processos industriais mais importantes na fabricação e recuperação de peças metálicas e componentes mecânicos e estruturais. A definição de soldagem estabelecida pela AWS - *American Welding Society* – é dada pela “operação que visa obter a coalescência localizada, produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição”. Modenesi, Marques e Santos (2012) ressaltam que muitos processos de soldagem, ou variações destes, são utilizados para recuperação de peças por meio da deposição de materiais sobre sua superfície.

Atualmente existe uma grande variedade de processos de soldagem, que, segundo Okumura (1982), podem ser categorizados em processos de soldagem por pressão, por fusão, como mostrado na Figura 2, e por brasagem, que são escolhidos dependendo do material de base e do tipo de junta a ser soldada, influenciando na qualidade e na metalurgia do cordão de solda e do material de base. Alguns dos processos de soldagem por fusão são relevantes para o escopo do trabalho e serão elencados.

Figura 2 – Classificação dos processos de soldagem por fusão



Fonte: Adaptado de Okumura (1982)

Dentro deste contexto, Marques, Modenesi e Bracarense (2011), a escolha do processo de soldagem depende de fatores como o material de base e do material de adição, e leva em conta os níveis de produtividade e posições de soldagem de campo, o que deve ser considerado no momento de se criar procedimentos e padrões para atividades de caldeiraria.

2.1.2.1 Processo GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

O processo de soldagem a arco elétrico e eletrodo de tungstênio com gás inerte, mais conhecido como processo TIG (*Tungsten Inert Gas*) por utilizar um eletrodo não consumível e gás de proteção inerte, é um dos processos que produzem melhores resultados no cordão de solda que, se executado adequadamente, é livre da maioria dos defeitos de solda que serão discutidos posteriormente. Essa qualidade no cordão se dá pela concentração de energia fornecida à poça de fusão, que reduz a zona termicamente afetada pelo calor, sendo que os processos que apresentam melhores resultados frente ao processo TIG são apenas o processo por feixe de elétrons e a soldagem a laser.

Segundo Okumura (1982), nesse processo, o arco elétrico é gerado entre o eletrodo e o metal de base, em que uma proteção gasosa é utilizada, podendo ser argônio (Ar) ou Hélio (He). O autor ainda cita que o processo pode possuir metal de adição, que geralmente ocorre na forma de vareta e que é adicionado à poça de fusão separadamente, ou não.

Apesar de ser pouco comum no setor de caldeiraria, o processo TIG pode ser semi ou totalmente automatizado, em que o arame de adição é alimentado mecanicamente na poça de fusão ou pode ser também manual, sendo mais comum, em que o soldador adiciona manualmente a vareta na poça de fusão.

O processo de soldagem TIG apresenta boas características metalúrgicas, geralmente produzindo cordões de solda com bom acabamento superficial e propriedades mecânicas de qualidade e suas vantagens e desvantagens podem ser descritas como segue no Quadro 2, adaptado da obra de Okumura (1982).

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens do processo TIG

Nº	Vantagens / Desvantagens TIG
a	Como o arame de enchimento é introduzido na poça de fusão, independentemente da corrente de soldagem, é possível obter-se a penetração desejada no metal de base, fazendo com que o processo possa ser aplicado a uma vasta gama de materiais.
b	A zona de solda apresenta excelentes qualidades metalúrgicas.
c	Bom controle da poça de fusão, permitindo também soldar sem metal de adição.
d	Pode ser utilizado na soldagem da maioria dos metais, em qualquer posição.
e	A eficiência de soldagem é bem inferior se comparada a outros processos de soldagem.
f	O custo operacional é relativamente elevado, com equipamentos, mão-de-obra e consumíveis mais caros.

Fonte: Adaptado de Okumura (1982)

Frente às características apresentadas do processo TIG, pode-se prever que esse processo de soldagem possui aplicações em materiais como aços inoxidáveis, aços com resistência térmica elevada e ligas não-ferrosas, além de ser ideal para realizar passe de raiz e soldas em tubulações. Modenesi, Marques e Santos (2012), bem como Okumura (1982) elencam algumas variáveis do processo que devem ser definidas com cautela, pois possuem grande influência no resultado final da solda, que se referem às variáveis de corrente, tensão, diâmetro, comprimento e forma do eletrodo de tungstênio, do material de adição e gás de proteção.

Quanto às fontes de soldagem utilizadas no processo TIG, existem fontes de corrente contínua, com polaridade direta ou inversa, e as fontes com corrente alternada. Por possuírem características únicas, “a escolha deve ser precedida de uma análise acurada, em função do trabalho de soldagem a ser executado” (OKUMURA, 1982, p. 19). A Tabela 1 a seguir relaciona o tipo de fonte com a aplicação adequada, abstraído da literatura de referência.

Tabela 1 – Polaridades utilizadas para diferentes metais no processo TIG

Metal	Corrente alternada com alta frequência	Corrente contínua com polaridade direta	Corrente contínua com polaridade inversa
Aço Carbono	Limitada	Adequada	-
Aço inoxidável	Limitada	Adequada	-
Ferro fundido	Limitada	Adequada	-
Alumínio e suas ligas	Adequada	-	Possível para chapas finas
Magnésio e suas ligas	Adequada	-	Possível para chapas finas
Cobre e suas ligas	Limitada	Adequada	-
Bronze alumínio	Adequada	Limitada	-

Fonte: adaptado de Okumura (1982)

Durante o procedimento de solda, quando executada de forma manual por um soldador, exige uma habilidade para que a ponta do eletrodo não seja curto-circuitada e a alimentação do metal de adição deve ser realizada de forma controlada.

As configurações do eletrodo, que de acordo com Okumura (1982), pode ser de tungstênio puro ou com porcentagem de tório ligado, com diâmetros variando de 1,0 a 4,8 mm, sendo que o eletrodo de tungstênio ligado com tório possui melhor desempenho e resistência à abrasão elétrica.

De mesmo modo, Okumura (1982) recomenda que o gás inerte seja argônio puro, com atenção à pureza do gás, evitando que outros gases ativos contaminem o cordão de solda.

Conclusivamente, o arame ou vareta de adição deve ser, de preferência, do mesmo material e composição do metal de base, muito embora não haja um controle estrito para esse quesito, podendo variar em composição, principalmente nas soldas encontradas nas peças produzidas em processos de caldeiraria.

Comumente, suportes de tubulação ou estruturas de fixação são fabricadas em aço carbono ou aço inox, segundo normas e especificações técnicas como ASME e AISI, de modo que os materiais de adição para solda seguem o mesmo padrão.

2.1.2.2 Processo GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Processo a arco metálico com gás inerte ou ativo, mais conhecido como soldagens MIG (*Metal Inert Gas*) e MAG (*Metal Active Gas*), respectivamente, utilizam um eletrodo consumível que é alimentado mecanicamente pela tocha. Esse tipo de processo pode utilizar um gás inerte, como no caso da soldagem TIG, que geralmente é argônio, ou fazer uso de um gás ou uma mistura de gases ativos, como o gás oxigênio e o dióxido de carbono. Mesmo no caso da soldagem MIG, pequenas quantidades de O₂ e CO₂ são adicionadas para estabilização do arco elétrico. As vantagens e limitações do processo podem ser descritas como no Quadro 3, adaptado dos trabalhos de Modenesi, Marques e Santos (2012):

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens do processo MIG/MAG

Vantagens / Desvantagens MIG/MAG	Aplicações
Processo com eletrodo contínuo	Soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas
Permite soldagem em qualquer posição	
Elevada taxa de deposição de metal	Soldagem de carrocerias e estruturas de veículos
Elevada penetração	
Possibilidade de soldar diferentes ligas metálicas	
Exige pouca limpeza após a soldagem	
Processo exige pouca habilidade do soldador, se comparado a outros processos como eletrodo revestido e TIG	Soldagem de tubulações
Processo de ajuste mais difícil e sensível, se comparado a outros processos de soldagem	
Equipamento de custo elevado e relativamente complexo	
Proteção do arco é sensível a correntes de ar	Soldagem de chaparias e estruturas metálicas
Pode gerar elevada quantidade de respingos	

Fonte: Adaptado de Modenesi, Marques e Santos (2012)

Diferentemente do processo TIG, a soldagem MIG/MAG possui alta produtividade com elevada penetração e exigência de menor qualificação do soldador para realização da atividade de solda. Do ponto de vista de custo operacional, é mais vantajoso utilizar esse processo para soldas em que a exigência de acabamento superficial e integridade estrutural são mais baixas, principalmente na soldagem de peças em aço carbono, por exemplo. Esse fator faz com que esse processo seja um dos mais utilizados no setor de caldeiraria.

Em contrapartida, a baixa mobilidade dos equipamentos e a suscetibilidade ao erro no ajuste dos parâmetros de soldagem são uma limitação. O sucesso desse processo varia “dependendo de parâmetros operacionais, tais como o nível de corrente, sua polaridade, diâmetro e composição do eletrodo, composição do gás de proteção e comprimento do eletrodo” (MODENESI, MARQUES e SANTOS, 2012, p. 17).

O modo de transferência de material do eletrodo consumível para o metal de base é de grande importância para se prever as propriedades do cordão de solda gerado. Desse modo, Okumura (1982) descreve que para se atingir o modo de transferência por névoa, para o processo MIG, a corrente de soldagem deve ser estabelecida em um valor específico, conhecido como corrente de transição, que é função do diâmetro do eletrodo, de seu material e do gás de proteção. De modo que, diminui com a redução do diâmetro e aumenta com a adição de CO₂ à mistura de gases de proteção, por exemplo. No processo MAG, o método de deposição se dá por glóbulos, que embora seja em velocidade elevada provoca a ocorrência de respingos.

O processo MIG/MAG de soldagem utiliza corrente contínua, com diâmetros de eletrodo variando de 1,2 a 1,6 milímetros, alimentado por meio de um mecanismo automatizado em bobinas ligado à tocha, que segundo Scotti e Ponomarev (2008), necessitam garantir fornecimento contínuo na poça de fusão, sendo fornecido em bobinas ou carretéis, podendo ser sólidos ou arame tubular, com composições variadas, escolhidas a depender das propriedades almejadas para o cordão de solda. A Tabela 2 reúne informações do tipo de gás de proteção utilizado e as aplicações do processo.

Tabela 2 – Gases de proteção e aplicações

Gás ou mistura	Componente químico	Aplicações
Argônio	Inerte	Quase todos os aços
Hélio	Inerte	Alumínio, Manganês e Cobre e suas ligas
Ar +20 a 50% de Hélio	Inerte	Idem ao anterior (melhor que 100% He ₂)
Nitrogênio	Inerte	Cobre e suas ligas
Argônio + 20 a 30% de Nitrogênio	Inerte	Idem ao anterior (melhor que 100% N ₂)
Argônio + 1 a 2% de O ₂	Ligeiramente oxidante	Aços inox e algumas ligas de cobre
Argônio + 3 a 5% de O ₂	Oxidante	Aços baixo carbono e baixa liga
CO ₂	Oxidante	Aços baixo carbono e baixa liga
Argônio +20 a 50% de CO ₂	Oxidante	Diversos aços
Argônio + CO ₂ + O ₂	Oxidante	Diversos aços

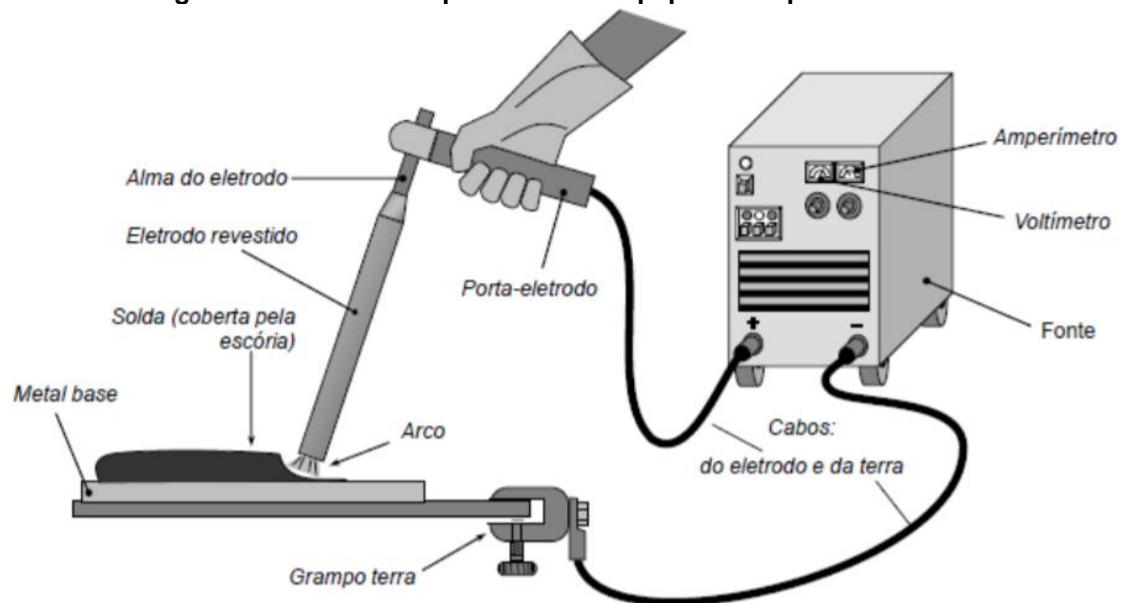
Fonte: Adaptado de ESAB (2015)

2.1.2.3 Processo SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

O processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é o processo em que a poça de fusão é criada por um arco elétrico gerado entre um eletrodo consumível envolto por um revestimento fundente de composição variável e o metal de base.

Esse processo, segundo Weman (2012), era o processo de soldagem por fusão predominante no início da década de 1980, com equipamentos relativamente simples, como representado na Figura 3, e de fácil aplicação, podendo ser utilizado ao ar livre em trabalhos de campo, em oposição aos demais processos que envolvem uso de gases de proteção, e possui aplicação principalmente na área de estruturas metálicas.

Figura 3 – Desenho esquemático do equipamento para eletrodo revestido



Fonte: Ponomarev (2008)

O processo de soldagem com eletrodo revestido traz algumas vantagens em relação a outros métodos de soldagem por fusão, tais como menor custo operacional, por possuir equipamentos mais simples e consumíveis de menor preço, porém com limitações, como a menor produtividade se comparado a processos como MIG/MAG, por possuir um baixo fator de ocupação do soldador e baixas taxas de deposição de material.

As variáveis de soldagem que possuem maior influência no processo por eletrodo revestido são a corrente, a umidade do eletrodo, que deve ser armazenado em estufas e a composição do revestimento e que pode variar em compostos químicos e orgânicos. Okumura (1982) ressalta que o modo de transferência de metal do eletrodo para o metal-base possui grande impacto na qualidade da junta soldada. Segundo ele, “de maneira genérica, gotas menores promovem melhor transferência e, portanto, melhores uniões soldadas” (OKUMURA, 1982, p. 9). Tal que, em suma, o modo de transferência é função da corrente de soldagem, da composição do revestimento e do ponto de fusão material do eletrodo.

Durante a soldagem, o revestimento é transformado em escória após ser fundido, recobrimdo e protegendo a poça de fusão da contaminação atmosférica, podendo ainda gerar fumos que estabilizam o arco gerado. Além de proteger a

poça, o revestimento pode conter elementos de liga que possuem o objetivo de adicionar propriedades metalúrgicas à junta soldada.

A composição dos revestimentos possui proporções adequadas ao tipo de aplicação, mantendo o material da alma similar ao do metal-base a ser soldado. Os principais tipos de materiais componentes de revestimentos e suas funções (“X” indica função primária enquanto “O” indica função secundária) podem ser observados no Quadro 4, abstraído da literatura de Okumura (1982).

Quadro 4 – Tipo e materiais componentes do fluxo

Funções Materiais	Estabilização do arco	Formação de escória	Desoxidação	Oxidação	Geração de gás	Adição de elementos de liga	Reforçador do revestimento
Celulose		X	O		X		
Argamassa de porcelana	O	X					
Talco	O	X					
Óxido de titânio	X	X					
Ilmenita	X	X					
Óxido de ferro	O	X		X			
Carbonato de cálcio	O	X		O	X		
Ferromanganes		X	X			O	
Dióxido de manganês		X		O		O	O
Sílica		X		O		O	
Silicato de potássio	X	X					
Silicato de sódio	O	X					

Fonte: Adaptado de Okumura (1982)

Outro ponto importante que deve ser levado em conta quanto a utilização do processo por eletrodo revestido é a necessidade de condicionamento e

armazenagem dos consumíveis, ou seja, dos eletrodos. Qualquer dano superficial ao revestimento do eletrodo pode torná-lo inutilizável para aplicações que possuam um mínimo de responsabilidade.

Dentro desta ótica, para Marques, Modenesi e Bracarense (2011), outro fator que compromete a integridade dos eletrodos é a absorção de umidade, e salientam que eletrodos que possuem baixo nível de hidrogênio apresentam uma grande tendência em absorver umidade do ambiente. Isso faz com que haja a necessidade de se instalar estufas para transporte e armazenagem dos eletrodos, o que deve ser considerado em uma eventual análise de custos de soldagem.

Existe uma certa variedade de eletrodos no mercado, de modo que normas e especificações se fazem necessárias para que se tenha controle de qualidade e padrão comercial. Algumas sociedades da área possuem normas para eletrodos revestidos, tais como AWS, DIN, ANFOR, ABNT e ISO, por exemplo, sendo que as normas e padrões da AWS são mais pertinentes na análise deste trabalho. A Tabela 3 exemplifica a especificação normativa e o tipo de eletrodo relacionado, estabelecido pela AWS.

Tabela 3 – Especificações AWS para classificação de eletrodos revestidos

Especificação	Tipo de eletrodo
AWS A 5.1	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aço carbono
AWS A 5.3	Eletrodos revestidos para soldagem a arco do alumínio e suas ligas
AWS A 5.4	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aço inoxidáveis
AWS A 5.5	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aço baixa liga
AWS A 5.6	Eletrodos revestidos para soldagem a arco do cobre e suas ligas
AWS A 5.11	Eletrodos revestidos para soldagem a arco do níquel e suas ligas
AWS A 5.13	Eletrodos revestidos para revestimento por soldagem a arco
AWS A 5.15	Eletrodos e varetas para soldagem do ferro fundido

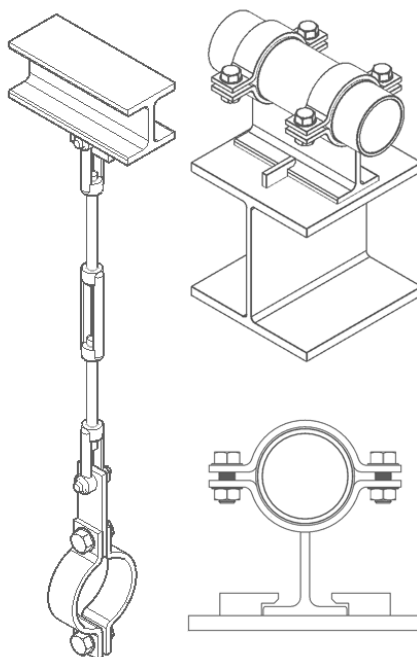
Fonte: Adaptado de Marques, Modenesi e Bracarense (2011)

2.2 Estruturas metálicas

Tubulações industriais de processo requerem elementos estruturais que sustentem de forma estável suas posições e sejam capazes de atender às solicitações de esforços impostas por essas tubulações. As fixações das tubulações, que segundo Telles (2009), podem ser consideradas como elementos estruturais, são realizadas pelo uso de suportes que possuem a funcionalidade de apoiar e/ou restringir movimentos, sejam eles em qualquer grau de liberdade.

O termo “suporte” é utilizado para se referir a todos os tipos de restrições de movimento utilizados em uma tubulação, e não apenas aos elementos utilizados para suportar seu próprio peso, os chamados apoios (FRANÇA FILHO, 2013). Para Bailona *et al.* (2006), os critérios de seleção desses suportes devem ser quanto à finalidade a que se destinam, a intensidade da carga solicitada e as limitações de espaço disponível para montagem. Podem ser classificados quanto ao emprego, sendo suportes de restrição aos movimentos de translação e aos movimentos de rotação, ou ainda referentes aos dois, simultaneamente, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Alguns tipos de suportes com restrição de movimentos.



Fonte: Wermack (2021)

Um ponto importante a se considerar é a seleção do material de fabricação dos suportes para tubulações. Para Bellei (2003), as principais vantagens da utilização do aço na fabricação de estruturas metálicas se devem à alta resistência mecânica do material sob solicitações de esforços variados (tração, compressão, flexão etc.) e pelo fato de oferecerem uma grande margem de segurança em operação. Porém, os aços carbono são altamente suscetíveis à corrosão, necessitando de processos subsequentes de tratamento da superfície, como pintura ou galvanização.

Por final, Britton (2002), afirma que a corrosão em suportes de tubulação é uma das principais causas de falha em processos industriais, gerando custos de manutenção e de paradas na produção. Interações entre materiais, procedimentos de soldagem e tratamentos superficiais quando mal supervisionadas são as principais causas.

2.3 Métodos de qualificação e inspeção de soldagem

A soldagem, como já abordado, é notoriamente um dos métodos de união de metais mais utilizados industrialmente, que, por sua vez, é caracterizada por processos de fabricação com uma escala ampla de aplicação, tornando muito difícil de se prever absolutamente os resultados da sua operação, pois mesmo com o uso de tecnologias a presença de discontinuidades e defeitos é uma característica recorrente.

Segundo Silva (2019), a presença de problemas na execução da soldagem ocasionada pelo emprego inadequado de procedimentos pode causar defeitos no cordão de solda, tais como trincas, faltas de fusão e inclusões, que impactam negativamente na vida útil e funcionamento de equipamentos industriais, provocar acidentes e paradas não programadas do setor produtivo.

Em decorrência disto, Macena e Moreno (2019) corroboram que a qualificação dos procedimentos em conformidade com códigos e normas técnicas regulamentadoras se faz necessária. Essa qualificação envolve atividades que vão desde a preparação da junta a ser soldada até a realização de testes e ensaios para verificação da junta soldada.

Com isso em mente, a escolha da norma ASME SECTION IX, que define parâmetros de execução e qualificação de procedimentos de soldagem e soldadores, se faz adequada. A norma considera o Registro de Qualificação de Procedimentos de Soldagem (RQPS) e a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) como documentos necessários e define as variáveis de processo de soldagem em três tipos, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Definição das variáveis de processo conforme ASME SECTION IX

Tipo de Variável	Característica
Essenciais	São aquelas cuja variação, além dos limites permissíveis, poderão afetar as propriedades mecânicas da junta soldada e exige nova qualificação da EPS.
Suplementares	São aquelas cuja alteração nas condições de soldagem poderão afetar as propriedades da resistência ao impacto da junta soldada e a mudança destas variáveis, além do limite permissível e quando aplicável, também exige nova qualificação da EPS.
Não essenciais	São aquelas cuja mudança nas condições de soldagem não afetam substancialmente as propriedades mecânicas da junta soldada e, portanto, não exigem nova qualificação de EPS

Fonte: Vicente e Hermenegildo (2019)

2.3.1 Registro e qualificação de procedimentos

“Para diversas aplicações, as normas relevantes exigem que, antes da execução da soldagem de produção, especificações dos procedimentos que serão adotados para sua execução sejam preparadas e qualificadas” (MARQUES, MODENESE e BRACARENSE, 2011, p. 141). Tais procedimentos possuem o objetivo de garantir que as soldas produzidas estarão adequadas ao exigido em contrato e possuem integridade, além de servirem de registro documental e forma de rastreio em casos de falha.

Os documentos principais que atendem ao supracitado são a RQPS e a EPS, já mencionados, que possuem o objetivo de reunir informações suficientes para a execução do processo de soldagem. No Brasil, na maioria das áreas de aplicação e para o caso em estudo neste trabalho, os profissionais habilitados para elaboração e validação do RQPS e EPS são os inspetores de soldagem nível 2 ou os engenheiros de soldagem especialistas, que devem estar

devidamente qualificados conforme a NBR 14842 e certificados pela Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem (FBTS).

O primeiro documento elaborado, a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS), segundo Marques, Modenese e Bracarense (2011), é um documento que contém as determinações das variáveis de processo que serão adotados pelo soldador ou operador de soldagem durante a fabricação de uma determinada junta soldada. Os autores ainda acrescentam que variáveis importantes como a composição, classe e espessura do metal de base, processos de soldagem, temperatura de pré-aquecimento e entre passes, corrente, tensão e velocidade de soldagem entre outros são necessários e devem ser contemplados no documento.

Os procedimentos elaborados na EPS devem ser testados e ensaiados em corpos de prova fabricados por meio dos procedimentos especificados para validação e qualificação do mesmo. Esses testes servem tanto para qualificação do soldador quanto do procedimento elaborado. Os testes a serem realizados, bem como o número, as dimensões e posição do corpo de prova dependem da especificação da norma e área de aplicação consideradas, podendo incluir testes destrutivos, como ensaios de tração e dobramento e ensaios não destrutivos como visual de solda e ensaio por líquido penetrante, por exemplo.

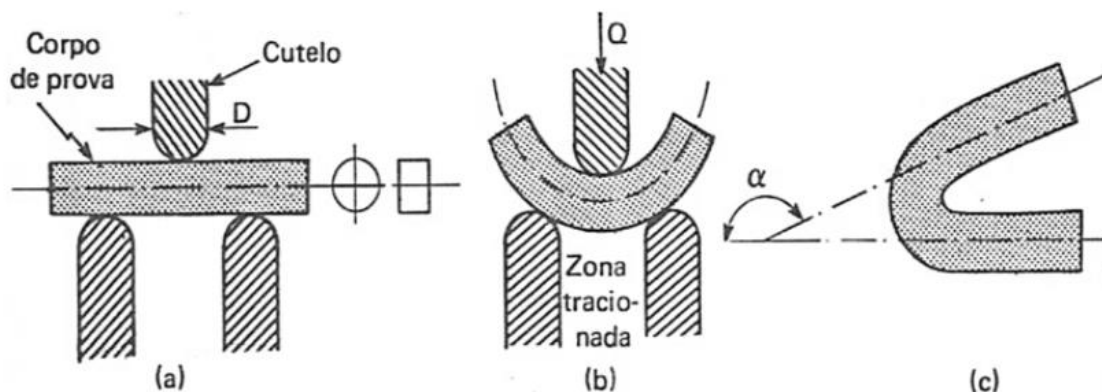
Segundo Vicente (2019) e Marques, Modenese e Bracarense (2011) o registro dos resultados desses testes e ensaios deve ser feito, gerando o Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS), validado após os resultados serem aprovados pelas especificações da norma ASME SECTION IX.

2.3.2 Ensaio destrutivos

“O melhor método para medir a resistência efetiva de uma estrutura soldada é aplicar-lhes as cargas reais de projeto e aquelas impostas pelo ambiente.” (OKUMURA, 1982, p. 417). Visto que a escolha por modelos em escala reduzida é a alternativa no caso da impossibilidade deste procedimento.

Os ensaios destrutivos mais utilizados para qualificar procedimentos de soldagem, exigidos por normas, são os ensaios de dobramento (Figura 5) e de tração (Figura 6).

Figura 5 – Ensaio de dobramento.



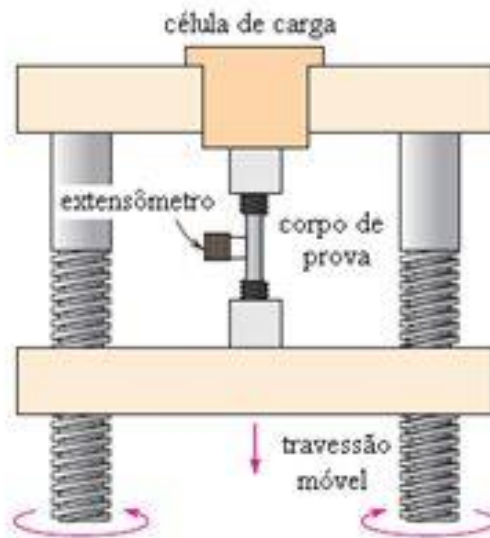
Fonte: Biopdi (2021)

Segundo Filho *et al* (1983), de modo geral, o ensaio de dobramento consiste em dobrar um corpo de prova de eixo retilíneo, seção circular, quadrada, retangular ou tubular posicionado em dois apoios distanciados em valor específico, de acordo com o tamanho do corpo de prova. O esforço que provoca a deformação é realizado pelo uso de um cutelo, aplicado no centro do corpo de prova, até que seja atingido um ângulo de dobramento especificado.

A norma ASME SECTION IX determina que trincas e descontinuidades menores que 3,2 mm observadas são aceitáveis e o ensaio é aprovado.

Para o ensaio de tração, como definido por Callister (2002), que consiste em aplicar uma força uniaxial no material, tendendo a alongá-lo até a sua ruptura, os corpos de prova também são dimensionados conforme as normas aplicadas para qualificação do procedimento de soldagem, que geralmente é extraído do centro do cordão de solda.

Figura 6 – Ensaio de tração.



Fonte: Callister (2002)

2.3.3 Ensaios não-destrutivos

Os ensaios não-destrutivos, em contrapartida aos ensaios de dobramento e tração, podem ser realizados na própria peça ou equipamento soldado, uma vez que não inutiliza a solda, como colocado por Okumura (1982), que não afetam a integridade física do produto inspecionado.

Os ensaios não-destrutivos mais comumente utilizados em conformidade com normas e códigos são os ensaios visuais e por líquidos penetrantes.

Okumura (1982) ressalta que, para inspeção visual de juntas soldadas, a aparência do cordão, as condições da superfície, os aspectos dimensionais, bem como o tratamento da junta devem ser levados em consideração. Salienta ainda que a presença de irregularidades no tamanho e formato da junta soldada não afetam somente o aspecto estético da junta, mas podem ser indícios de defeitos mais graves.

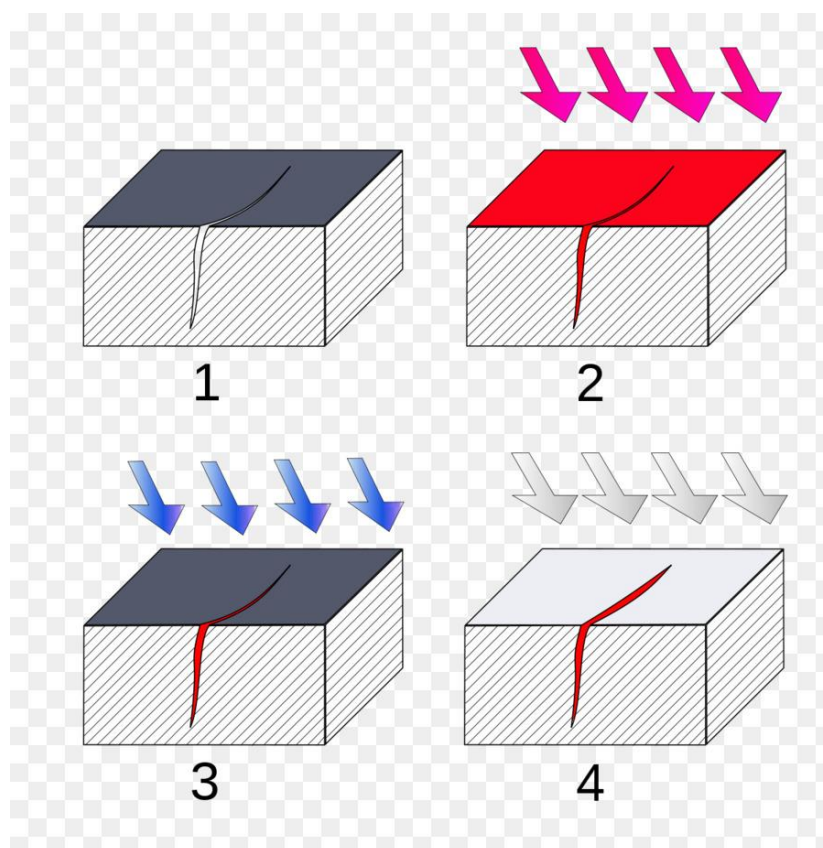
A inspeção visual procura identificar defeitos de soldagem como superposições, saliências, mordeduras, crateras e trincas, e aspectos dimensionais como reforços de solda, comprimento do cordão e da perna do filete, utilizando-se de padrões e gabaritos quando necessários.

Aliado à inspeção visual, o ensaio por líquido penetrante é frequentemente utilizado “para detectar e localizar pequenas descontinuidades

que se abrem para a superfície, como fissuras, poros e mesmo vazamentos.” (OKUMURA, 1982, p. 428).

O método consiste em aplicar um líquido de cor destacada na superfície do cordão, que tem seu excesso removido e então é exsudado por uma emulsão reveladora, permitindo a localização das eventuais falhas existentes na superfície examinada, em sequência ilustrada na Figura 7.

Figura 7 – Princípio de inspeção por líquido penetrante.



Fonte: Adaptado de Okumura (1982)

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Este trabalho pode ser enquadrado como uma pesquisa qualitativa aplicada, com os objetivos centrais de natureza exploratória. O trabalho foi realizado por meio de uma revisão bibliográfica sobre as áreas específicas condizentes com o problema e objeto de estudo, aliado a pesquisas de campo e *ex-post-facto*.

Segundo Gil (2007), pesquisas exploratórias possuem o objetivo de proporcionar maior conhecimento acerca do problema, tornando-o mais claro e formulando hipóteses, sendo bastante flexível e possuindo diferentes formas de levantamento de informações.

Dessa forma, procurou-se buscar informações de campo e, por meio de pesquisa bibliográfica, analisar qualitativamente os problemas e propor soluções práticas. Gil (2007), ainda, ressalta que, no estudo de campo os resultados obtidos são, geralmente, mais fidedignos, pois o estudo é aplicado diretamente na área em que o pesquisador atua, caracterizando o presente trabalho.

Ainda, tem-se como parte objetivos secundários e sugestões para estudos futuros, realizar uma análise de custos e impacto na produção e desempenho das empresas em que o estudo foi aplicado.

3.2 Definição do problema e objeto do estudo

O estudo foi aplicado em uma indústria do setor de papel e celulose do Paraná, em uma estação de tratamento para água de caldeira (ETAC). A análise foi feita por meio da observação e coleta de dados do campo, durante a montagem e comissionamento da planta.

O enfoque se deu na implementação de procedimentos de soldagem e inspeção para estruturas metálicas de suportação de tubulações e equipamentos fabricados.

Para a execução do projeto de montagem e instalação da ETAC em questão, não houve a estipulação de procedimentos de fabricação e inspeção

para os elementos de suportação, apenas para as tubulações e equipamentos, o que gerou uma falta de controle de qualidade nas peças produzidas, gerando transtornos e atrasos dos prazos da obra. As peças produzidas, muitas vezes não estavam de acordo com as especificações de projeto e apresentavam falhas de função, oxidação, erros dimensionais e soldas de má qualidade.

A fabricação das peças era realizada parcialmente em campo e em *pipe shop*, em um local diferente do local de montagem, que era então transportado para ser montado na planta de aplicação. Dessa forma, foi possível observar que para essas situações diferentes de fabricação, problemas distintos foram encontrados, que serão discutidos nas seções subsequentes.

3.3 Implementação do trabalho

Primeiramente, foi realizado um estudo preliminar e uma pesquisa bibliográfica sobre os principais t picos necessários para a análise e entendimento do problema, como os processos de soldagem e de fabricação em caldeiraria e dos parâmetros de avaliação da ASME IX e AWS D1.2.

O entendimento de toda cadeia produtiva e da interpretação das especificações dos projetos executivos das estruturas metálicas também se fez necessário, bem como os principais defeitos de solda e métodos de ensaio para identificação e implementação do método de controle.

Primeiramente, foi realizado uma coleta de informações de campo para identificação dos principais problemas advindos dos processos de fabricação e suas causas, por meio de um relatório fotográfico de inspeção do Anexo A.

Em seguida, foram definidas os parâmetros de soldagem que melhor atendiam as especificações de projeto e às condições de aplicação em campo e então elaborada um Especificação de Processo de Soldagem (EPS), contida no Anexo B.

Por fim, um Registro de Qualificação de Procedimentos de Soldagem (RQPS) também foi elaborado segundo as especificações da norma de referência, com o objetivo de qualificar o procedimento definido para implantação na fabricação, apresentado no Anexo C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção contém os resultados obtidos com a realização do estudo e aplicação da metodologia apresentada e uma discussão baseada nas análises feitas e dos dados coletados.

Para obtenção dos resultados foram realizados:

- Uma coleta de informações e identificação dos principais problemas ocorrentes na cadeia produtiva das estruturas de suportação, por meio de um relatório fotográfico de inspeção;
- Um procedimento de soldagem (EPS) adequado aos casos para que um controle de qualidade possa ser implementado, seguindo os parâmetros da norma ASME IX e AWS D1.2;
- Uma RQPS e um procedimento de inspeção de soldagem por ensaio visual e líquido penetrante, designado para garantir a qualidade das peç as e abordagem dos defeitos de solda, segundo a norma mencionada.
- Após a definição e qualificação dos procedimentos, foi realizada a aplicação na fabricação das estruturas metálicas e um plano de inspeção visual e por líquido penetrante foi executado e avaliado, apresentado no Anexo D.

4.1 Identificação dos problemas

Os projetos das estruturas e suportes de tubulação analisados no estudo foram elaborados com as exigências e especificações de solda e materiais como mostrado no Quadro 5, sendo comuns para todos os modelos do tipo tubulação e do tipo estrutural, de modo que apenas dois modelos de cada foram avaliados, denominados simplesmente de TIP1 e TIP2.

O quadro ainda mostra os perfis e matérias prima utilizados nos processos de caldeiraria.

Quadro 5 – Especificações dos projetos

Tipo de Suporte	Material	Perfil	Tipos de Junta	Largura do Cordão	Reforço
Tubulação TIP1	ASTM A36	Barra chata, chapa	Filete em contorno	6 - 16 mm	3 mm
Tubulação TIP2	ASTM A36	Barra chata	Filete e topo	6 - 16 mm	3 mm
Estrutural TIP1	ASTM A36	Chapa, perfil U	Topo	6 - 16 mm	3 mm
Estrutural TIP2	ASTM A36	Chapa, perfil L	Filete e topo	6 - 16 mm	3 mm

Fonte: Autoria própria (2022)

Toda junta soldada, seja ela de topo ou filete, varia de 6 a 16 mm de largura do cordão e reforço de 3 mm, sendo que o processo de soldagem deve ser o que atenda tais exigências, além de cumprir às exigências dimensionais e de material. Os perfis e chapas variaram em bitolas de 1/4 de polegada até 1 polegada de espessura para os suportes de tubulação e variando de 1/4 de polegada até 3/8 de polegada para os suportes estruturais.

Com base nessas informações, o primeiro passo foi coletar as informações no chão de fábrica do *pipe shop* e em seguida no campo, onde os suportes eram também fabricados e ajustados muitas vezes. A coleta de dados foi feita por meio de uma inspeção visual de campo e acompanhamento e supervisão de fabricação in loco e os dados reunidos no relatório fotográfico mencionado no Anexo A.

O primeiro problema observado, considerado uma variável essencial em um procedimento de soldagem segundo a norma ASME IX, foi a inconsistência na escolha dos materiais de fabricação e da preparação das juntas antes do início da soldagem. Muitos suportes que deveriam ser fabricados em aço carbono especificação ASTM A36 foram fabricados em aço inox especificação AISI 304L, de modo que a escolha do processo e parâmetros de soldagem não levou em consideração essa substituição de material.

A falta de controle dos parâmetros de soldagem durante a fabricação das peças gerou uma série de defeitos nos cordões de solda dos suportes e estruturas, como observado no relatório fotográfico contido no Anexo A, muitos

deles ocasionando falha e consequente perda de função dos mesmos quando aplicados em campo, ou mesmo gerando um mal acabamento da peça. Os principais defeitos observados foram:

- I. Falta de Fusão: ocorre por falta de coalescência entre o metal de adição e o metal de base ou metal previamente depositado no cordão. Os principais fatores causadores desse tipo de defeito são corrente de soldagem insuficientemente baixa, má preparação da superfície soldada e comprimento de arco longo, comumente observados durante a fabricação;
- II. Falta de penetração: ocorre quando não há penetração total da solda ao longo da espessura do metal de base, gerando concentração de tensões, sendo considerado um defeito grave, que geralmente resulta em falha da peça. É causada por baixas correntes de soldagem, abertura de junta insuficiente ou velocidade de soldagem elevada;
- III. Porosidades: é a presença de pequenos vazios no cordão de solda, causadas pela presença de gases, comumente hidrogênio, liberados durante a solidificação da poça de fusão. A falta de limpeza da superfície soldada, com a presença de água ou óleo é o motivo mais comum desse tipo de defeitos e está associado a outros problemas como a falta de fusão ou penetração;
- IV. Trincas: são fissuras, ou descontinuidades que podem ocorrer tanto no cordão de solda como na zona termicamente afetada durante o processo de solidificação e resfriamento da solda. Esse tipo de defeito é oriundo de uma combinação de fatores, como uma fragilização mecânica do material e a existência de tensões aplicadas ao material.
- V. Mordedura: é causada por manipulação inadequada da tocha por imperícia do soldador, bem como correntes elevadas de soldagem. Ocorre quando o calor do arco funde uma área mais extensa que a solda, gerando sulcos no metal de base.
- VI. Respingos: respingos geralmente são problemas de acabamento nas peças, que necessitam de retrabalho antes de processos

subsequentes de pintura, tais como jateamento, aumentando custos de produção.

Foi observado que problemas relacionados com configuração inadequada dos parâmetros elétricos de soldagem causaram a maioria dos defeitos, além da falta de qualificação dos soldadores e um acompanhamento de inspeção.

Esses defeitos, quando não causavam falha da peça e danos às tubulações, como mostrado na Fotografia 1, (Foto 9, ANEXO A), geravam problemas dimensionais nas peças que impossibilitavam a montagem mecânica em campo, observado na Fotografia 2, (Foto 12, ANEXO A), necessitando retrabalho e perda de material. Esses retrabalhos e perdas de material aumentavam os custos de fabricação e os prazos de entrega dos serviços da obra.

Fotografia 1 – Fratura no cordão de solda



Fonte: Autoria própria (2021)

Fotografia 2 – Ponto de solda irregular, com distorção de peça



Fonte: Autoria própria (2021)

Com isso em mente, foi elaborado um plano de ação e uma especificação de procedimento de soldagem foi elaborada para fabricação dos suportes, que será apresentada nas seções subsequentes.

4.2 Definição das variáveis de soldagem

A escolha do processo de soldagem para a aplicação estudada foi o processo GMAW, ou MAG, dado a boa aplicabilidade para soldagem de aços carbono exigidos nos projetos das estruturas. A escolha também se deu em função do bom custo-benefício do processo e das disponibilidades de equipamento e mão de obra *in loco*.

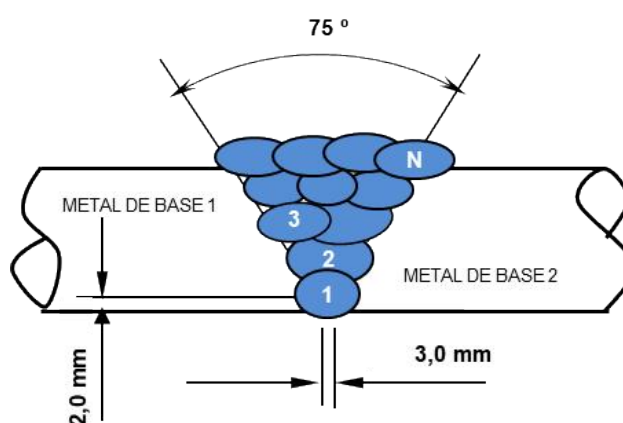
Dessa forma, as variáveis foram analisadas segundo os parágrafos da norma de referência ASME IX (2019), levando em conta as variáveis essenciais e não essenciais descritas e as exigências de projeto das juntas.

4.2.1 Croqui da junta

Primeiramente, foi elaborado um croqui da junta que atenda uma largura do cordão variando de 6,0 mm a 16,0 mm, aplicando um reforço de 3 mm. A escolha do chanfro é considerada uma variável não essencial para a qualificação do procedimento, de modo que a escolha por um chanfro “V” foi a melhor avaliada pela facilidade de preparação.

Assim, os valores para ângulo do bisel, abertura de raiz e nariz da solda foram estipulados como na Figura 8, seguindo a sequência de passes ilustrada, de modo que a faixa de espessura do metal de base qualificada foi de 1,5 mm a 19,0 mm, como especificado pela norma de referência. O resultado é uma junta de topo com solda de penetração total, com quatro passes, sendo eles raiz, reforço, enchimento e o acabamento, conforme ilustrado.

Figura 9 – Croqui da junta elaborado.



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.2 Posição e progressão de soldagem

A posição de soldagem não é definida como uma variável essencial para qualificação de um procedimento ou de um soldador. Contudo, a posição de soldagem deve levar em consideração as condições de soldagem em campo e das exigências que a geometria da peça soldada impõem

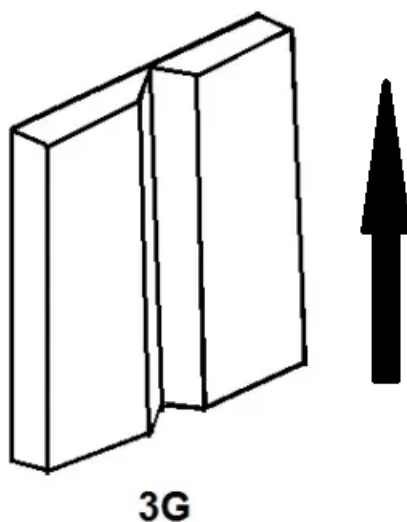
A tabela QW-452.6 da ASME IX (2019) define que uma junta de ângulo pode ser qualificada por um procedimento e soldador qualificado por um

procedimento de junta de topo. Dessa forma, a posição considerada para elaboração do procedimento de soldagem e da qualificação foi a posição 3G, ou seja, posição vertical e a progressão no sentido ascendente, como ilustrado na Figura 9.

A posição 3G com progressão ascendente impõem um fator adverso da gravidade durante o procedimento de soldagem, que deve contar com a qualificação e habilidade do soldador para um bom resultado na qualidade do cordão de solda. A boa configuração dos demais parâmetros de soldagem também deve ser observada e levar em consideração a posição escolhida.

A qualificação do procedimento elaborado deve ser executada conforme o procedimento de soldagem elaborado, com a peça de teste soldada na mesma posição da EPS.

Figura 10 – Posição de soldagem 3G ascendente, segundo ASME IX.



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.3 Consumíveis e gases de proteção

Por consumíveis de soldagem entende-se todos os materiais utilizados na deposição de material e proteção da poça de fusão e, em alguns casos, da raiz da solda. Para o processo MAG semiautomático, o metal de adição foi o arame em forma de bobinas e o gás de proteção uma mistura de argônio e CO₂.

O parágrafo QW-408 da ASME IX (2019) considera o gás de proteção uma variável essencial na qualificação de um procedimento e exige a requalificação se alterada sua composição. Paralelamente, um procedimento qualificado para usar gás de purga para proteção da raiz da solda deve apenas ser utilizado para procedimentos que façam uso do mesmo, enquanto que procedimentos qualificados sem necessidade do gás de purga podem ser utilizados com gás de proteção para raiz.

De mesmo modo, o metal de adição também é considerado uma variável essencial e possui grande influência na habilidade dos soldadores e operadores quanto a execução da solda. A norma ainda classifica as varetas e arames de acordo com os chamados números F e números A (*F-Number* e *A-Number*) que levam em consideração suas usabilidades e características.

Essas classes são elencadas em tabelas de referência e, para o caso dos gases de proteção, são muitas vezes homologados por instituições da área como a Federação Brasileira de Tecnologia de Soldagem – FBTS, que serve de referência para o mercado.

A ASME IX (2019) ainda possui diversos outros parágrafos que especificam variáveis essenciais sobre os metais de adição, tais como a forma de produção do material, a presença de elementos de liga e a espessura do metal depositado que devem ser levados em consideração na escolha do procedimento.

Para elaboração do estudo em questão foram utilizadas referências e materiais comumente utilizados para processos de caldeiraria, considerando um metal de adição de número F igual a 6 e número A igual a 1, levando em consideração que o metal de base é um material de especificação ASTM A36, pertencente a classe número P igual a 1 e grupo 1 de espessura igual a 9,5 mm.

Dessa forma, um arame de especificação AWS A5.18 e uma classificação ER 70S-6 do fabricante Böhler foi selecionado para classificação em todos os passes, porém, qualquer metal de adição de mesmo número F e número A podem ser utilizados.

O gás de proteção utilizado na tocha foi uma mistura contendo 85% de argônio e 15% de CO₂, com uma vazão de 22 L/min e um diâmetro do bocal de 13 mm, seguindo valores usuais, dos quais se obtiveram bons resultados. O fabricante fornecedor selecionado foi a White Martins, que possui produtos

homologados pela FBTS e fornece certificados de qualidade de pureza dos gases.

4.2.4 Parâmetros elétricos

A configuração elétrica, em seu conjunto, é considerada uma variável essencial no procedimento de soldagem pois influencia no modo de transferência de material do eletrodo para a poça de fusão. A norma de referência exige uma requalificação do procedimento se houver alteração no modo de transferência e apresenta faixas de tensão e corrente para o modo qualificado.

Os parâmetros de tensão, corrente e polaridade devem ser selecionados em concordância com o tipo do metal de base, alimentação da tocha, composição do gás de proteção e velocidade de soldagem, de modo a evitar o aparecimento de descontinuidades e dos demais defeitos de soldagem já mencionados, decorrentes da falta de concordância dessas variáveis.

De modo geral, a corrente de soldagem influencia na penetração da solda, podendo ela ser contínua ou alternada. Valores de faixa qualificada, para o processo em questão, variam de 100 a 160 Ampère para o passe de raiz e de 100 a 190 Ampère para os passes de enchimento e acabamento.

Ainda em relação à corrente, para a soldagem de aços carbono com o processo GMAW o mais indicado é o uso de corrente contínua, com a polaridade podendo ser direta ou inversa. A escolha da corrente contínua com polaridade inversa favorece a penetração e estabilidade do arco, enquanto que a polaridade direta favorece a velocidade de deposição.

A espessura do metal de base influencia na escolha da intensidade e polaridade da corrente de soldagem, bem como o diâmetro do eletrodo e das características do cordão.

A tensão e comprimento do arco é outra variável que deve ser controlada e que está relacionada aos demais parâmetros mencionados anteriormente.

Se todas essas variáveis se mantiverem constantes, o aumento da tensão do arco provoca maior largura e menor altura do cordão, melhor molhagem, ou distribuição do metal depositado, e redução da penetração.

Tensões excessivas do arco provocam porosidade, salpicos e mordeduras; por outro lado, tensões mínimas resultam em porosidade e cordões muito convexos.

Um arco com comprimento muito pequeno pode causar curtos-circuitos acidentais quando a transferência é globular ou em “spray”, resultando em instabilidade do arco e conseqüente porosidade no cordão. Já o comprimento muito grande tende a oscilar e a causar um cordão de penetração e largura irregulares.

Tendo em vista essas observações e a experiência prática com o processo, as variáveis elétricas e o diâmetro do eletrodo foram definidos como mostrado no Quadro 6.

Quadro 6 – Parâmetros elétricos definidos para qualificação

REGIÃO DA SOLDA	CORRENTE				TENSÃO
	TIPO	POLARIDADE	INTENSIDADE	Ø ELETRODO	
1º Raiz	Contínua	Inversa	100 – 105 A	1,0 mm	22 – 25 V
2º Reforço	Contínua	Inversa	115 – 117 A	1,0 mm	22 – 25 V
3º Enchimento	Contínua	Inversa	115 – 118 A	1,0 mm	22 – 25 V
4º Goivagem	Contínua	Inversa	115 – 118 A	1,0 mm	22 – 25 V

Fonte: Autoria própria

4.2.5 Controle da temperatura

O pré-aquecimento e pós-aquecimento (tratamento térmico) da peça soldada são variáveis consideradas essenciais, indicados pelos parágrafos QW-406.1 e QW407.1/4 da ASME IX, respectivamente.

Portanto, quando necessárias, devem ser especificadas nos projetos de engenharia da peça e indicados na qualificação do procedimento.

Esses tratamentos são empregados no corte e, particularmente, nas operações de soldagem, por várias razões dentre as quais as mais importantes são:

- Evitar trincas a frio nas zonas termicamente afetadas dos aços temperados;
- Aumentar a dureza da junta soldada e melhorar a sua capacidade de resistir às condições adversas de serviço envolvendo cargas de impacto ou baixas temperaturas;
- Aliviar os efeitos do hidrogênio que penetra no metal de solda e na zona termicamente afetada do metal de base;
- Reduzir as tensões residuais (tensões internas devido à contração, transformação de fase);
- Minimizar contrações e distorções;

Para a soldagem de aços com baixo teor de carbono, especialmente em peças de baixa espessura, as operações de pré-aquecimento e tratamento térmico para alívio de tensões podem ser desprezadas devido às propriedades do material e a finalidade de aplicação.

Como o projeto das estruturas metálicas não especifica nenhum tratamento térmico necessário, foi seguido a recomendação da norma de referência de uma temperatura mínima para início da soldagem de 18°C e uma temperatura máxima de interpasse menor ou igual a 250°C, controladas com um pirômetro.

4.2.6 Técnica de soldagem

As variáveis compreendidas pela técnica de soldagem dizem respeito à oscilação lateral, velocidade de soldagem e à energia de soldagem. Essas variáveis também são consideradas essenciais pela ASME IX.

A oscilação lateral é o movimento realizado pelo soldador juntamente com o movimento de progressão da tocha com o objetivo de distribuir o calor aplicado à peça. Depende muito da habilidade do soldador e influencia a qualidade do cordão de solda.

Os valores máximos de oscilação foram definidos considerando a espessura do material de base e das demais variáveis já definidas, como

mostrado no Quadro 7. Porém, a norma de referência apenas indica, para a faixa qualificada, soldar com a menor oscilação lateral possível.

Quadro 7 – Parâmetros de técnica de soldagem definidos para qualificação

REGIÃO DA SOLDA	PROGRESSÃO	TIPO DE PASSE	OSCILAÇÃO MÁXIMA	VELOCIDADE	ENERGIA DE SOLDAGEM
1º Raiz	Ascendente	Retilíneo	7,0 mm	N/A	N/A
2º Reforço	Ascendente	Retilíneo	9,5 mm	N/A	N/A
3º Enchimento	Ascendente	Retilíneo	8,5 mm	N/A	N/A
4º Goivagem	Ascendente	Retilíneo	9,0 mm	N/A	N/A

Fonte: Autoria própria

A velocidade de soldagem e a energia de soldagem não são parâmetros essenciais para elaboração do procedimento de soldagem estudado e não foram aplicadas, uma vez que o controle preciso não se fez necessário para materiais de número P igual a 1 a temperaturas maiores ou iguais a -29°C.

A progressão do processo foi ascendente, como já mencionado, e o tipo de passe foi retilíneo. As espessuras de depósito para os passes de raiz, reforço e goivagem foram de 2 mm enquanto que, para o passe de enchimento, foi considerado uma espessura de 5,0 mm.

O método de goivagem foi esmerilhamento e a limpeza da solda foi feita utilizando escova rotativa de aço.

4.3 Qualificação do procedimento elaborado

Para que o procedimento elaborado possa ser validado e aplicado, se faz necessário a elaboração do Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem – RQPS.

O procedimento é qualificado pela ASME IX quando uma peça teste é soldada por um soldador qualificado, nos parâmetros especificados na EPS avaliada e então submetida a ensaios não-destrutivos e ensaios mecânicos.

Os resultados da qualificação são apresentados nas seções subsequentes, registrados no relatório no Anexo C, em que todas as variáveis

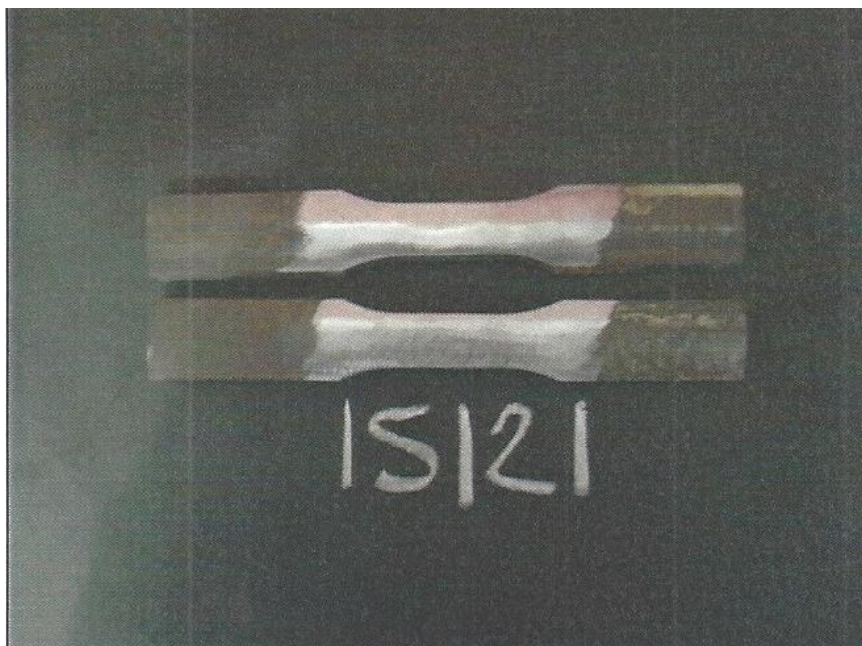
essenciais aplicadas devem estar registradas e os resultados dos ensaios apresentados.

4.3.1 Definição dos corpos de prova

O formato da peça teste não é considerado relevante para qualificação do procedimento de soldagem, segundo descrito na norma ASME IX (2019). Se considerado uma chapa, deve possuir um comprimento mínimo de 250 mm, de modo que seja possível a retirada de corpos de prova para os testes de tração e de dobramento.

Para o ensaio de tração, foram preparados dois corpos de prova de dimensões 9,4 mm de espessura e 19,0 mm de largura, denominados de TJS1 e TJS2, conforme mostrado na Fotografia 3.

Fotografia 311 – Corpos de prova preparados para ensaio de tração

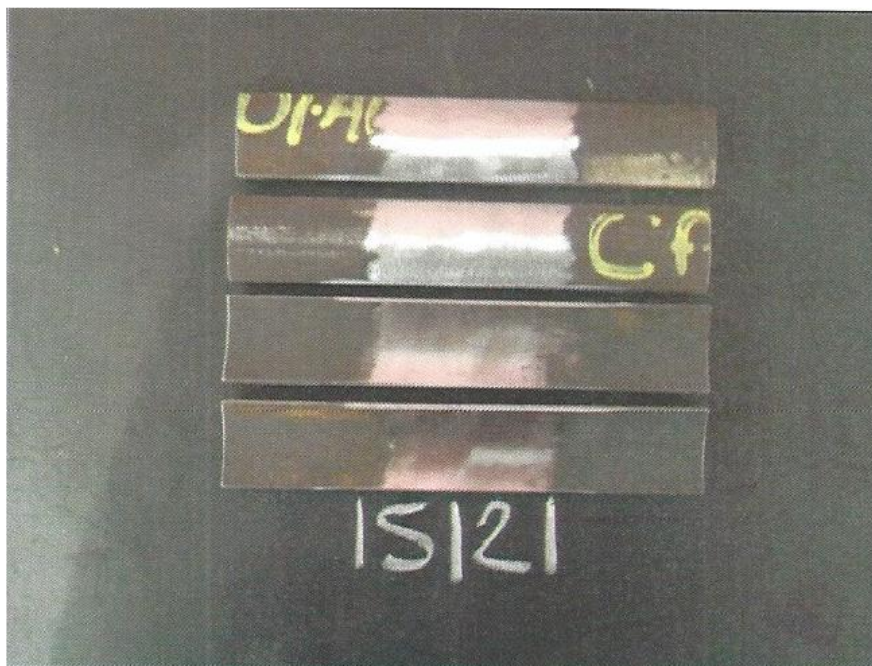


Fonte: Autoria própria (2021)

Para o ensaio de dobramento, foram preparados quatro corpos de prova, conforme indicação da norma de referência, com 9,5 mm de espessura, 38,0 mm de largura e 220,0 mm de comprimento, conforme a Fotografia 4, em concordância com a especificação ASME IX (2019).

Os corpos de prova foram preparados de forma a descartar o início e o fim do cordão de solda na chapa soldada.

Fotografia 4 – Corpos de prova preparados para ensaio de dobramento



Fonte: Autoria própria (2021)

4.3.2 Ensaio não destrutivo – END

Segundo as exigências da norma de referência, apenas um ensaio visual é exigido como ensaio não destrutivo para qualificação de EPS, de modo que devem ser realizados os ensaios mecânicos em seguida.

O ensaio visual é necessário desde a preparação da peça para ser soldada, em que o acoplamento é avaliado para garantir que os parâmetros indicados nos procedimentos estão sendo seguidos até a avaliação final do cordão soldado.

O ensaio visual foi executado com a superfície escovada, uma iluminação superior a 1100 LUX e constatou que a solda realizada estava de acordo com o especificado no procedimento, isenta de defeitos e com penetração total.

O ensaio por líquido penetrante não é uma exigência para qualificação e não foi aplicado na peça de teste. Contudo, foi aplicado como método de controle de qualidade nos suportes fabricados, que está apresentado nas seções subsequentes.

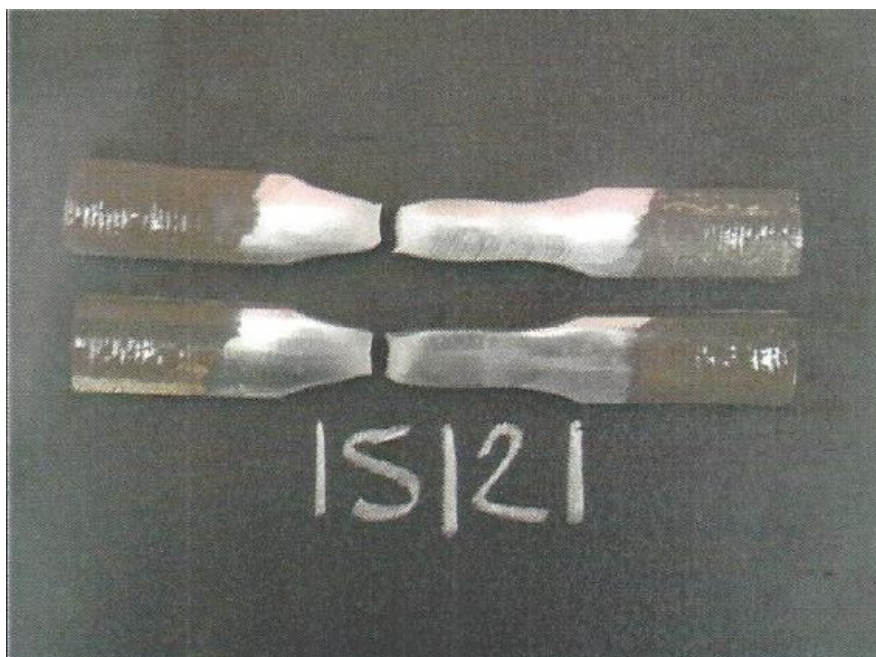
4.3.3 Ensaio mecânicos – Tração e dobramento

O objetivo dos ensaios mecânicos, no momento da qualificação, é determinar as propriedades mecânicas do material soldado e identificar descontinuidades no cordão de solda.

Para o ensaio de tração, a ruptura do corpo de prova deve se dar no metal de base para que o laudo do ensaio seja aprovado, além de apresentar um limite de resistência mínimo de 400 Mpa, segundo ASME IX, sendo que as tensões aplicadas devem ser registradas na RQPS.

Ambos os corpos de prova submetidos ao ensaio apresentaram limites de resistência satisfatório, superiores a 500 Mpa, com rompimento no metal de base, como mostrado na Fotografia 5.

Fotografia 5 – Corpos de prova após ensaio de tração

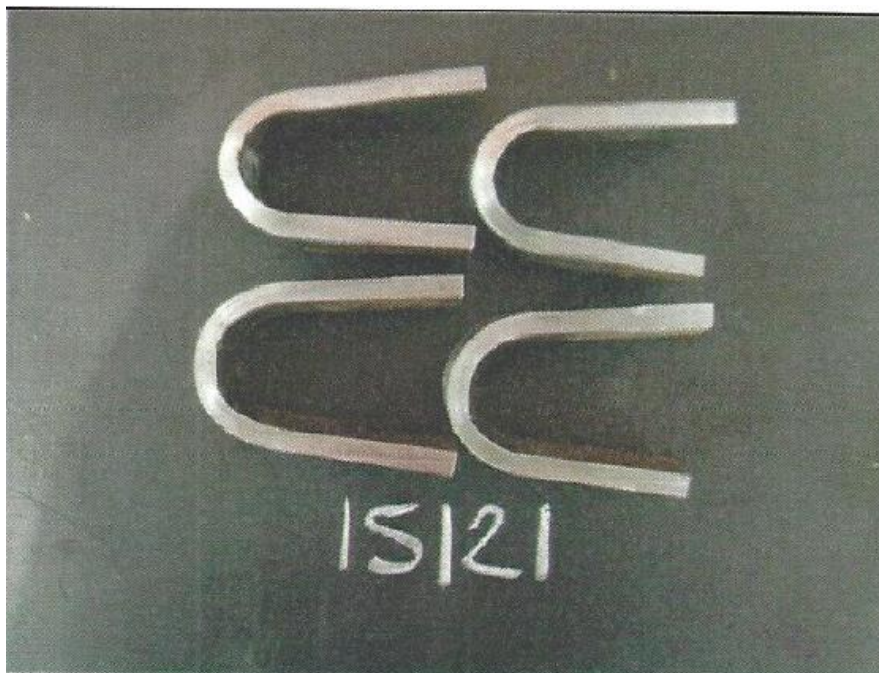


Fonte: Autoria própria (2021)

O ensaio de dobramento, aplicado segundo os critérios de execução da norma de referência, realizado nos quatro corpos de prova preparados, não indicou presença de descontinuidades no cordão de solda nem no metal de base, e foram considerados aprovados.

A Fotografia 6 mostra os corpos de prova depois do ensaio.

Fotografia 6 – Corpos de prova após ensaio de dobramento



Fonte: Autorial própria (2021)

4.4 Aplicação do procedimento na fabricação

Uma vez definido o procedimento de soldagem para processo GMAW adequado e então elaborado a EPS, uma peça de teste em aço carbono especificação ASTM A36, com 9,5 mm de espessura, foi soldada por um soldador qualificado e submetida a ensaios visual e mecânicos.

Após qualificado o procedimento e realizado o RQPS, a fabricação das estruturas de suporte seguiu os parâmetros de soldagem estabelecidos.

Para garantir que os parâmetros fossem seguidos e um controle de qualidade fosse possível, foi estabelecido um método de inspeção por meio de ensaios visual e por líquido penetrante dos suportes fabricados.

Os soldadores foram instruídos a seguir o procedimento vigente e os lotes eram inspecionados antes de seguirem para jateamento e pintura, conforme mostrado na Fotografia 7 e em maiores detalhes no relatório de inspeção no Anexo D.

Fotografia 7 – Suporte aprovado pelo ensaio LP



Fonte: Autoria própria (2021)

Em paralelo, os consumíveis e materiais passaram a ser adquiridos de fornecedores certificados, que realizam testes e fornecem laudos regularmente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi pautado na importância do estabelecimento de procedimentos e do controle de qualidade em processos de caldeiraria, à medida que buscou identificar os principais problemas observados na fabricação de estruturas metálicas para tubulações, em uma indústria de papel e celulose no norte do Paraná.

O estudo dos principais processos de soldagem e a influência dos parâmetros de soldagem e das condições de fabricação propiciou um melhor entendimento da elaboração dos documentos e registros em concordância com as normas do setor, bem como sua importância e indispensabilidade.

Pode-se afirmar que os principais objetivos do trabalho foram atingidos, uma vez que houve a confirmação de que a relação entre os parâmetros e processos de soldagem mal definidos realmente causavam os problemas nas estruturas metálicas fabricadas, que foram solucionadas na aplicação da solução proposta.

Foi possível observar uma melhora significativa na qualidade final dos suportes fabricados, como contrastado entre os relatórios de inspeção apresentados, e que, embora não constatado por um levantamento quantitativo, teve impacto no custo final da fabricação e explicitou a relevância da escolha adequada do processo GMAW para aplicação na fabricação das estruturas metálicas, bem como os métodos de ensaio e qualificação implementados.

Os processos de retrabalho por falhas ou incompatibilidade das peças foi reduzido em 100%, de modo que mesmo quando apresentado algum defeito de fabricação a sua identificação era feita durante o processo de inspeção e o reparo realizado causava menos impacto no andamento geral da obra, respaldado em aproximadamente 40% do total de lotes em escopo.

Da mesma forma, a satisfação do cliente foi atendida satisfatoriamente, uma vez que a qualidade aparente das peças e o atendimento dos prazos de entrega foram cumpridos.

A realização do trabalho ainda ofereceu o estabelecimento interno na empresa para o uso de relatórios fotográficos de inspeção como ferramenta do controle de qualidade, utilizada para compor os indicadores de desempenho no setor, evidenciando que o estudo proporcionou resultados muito satisfatórios.

6 ESTUDOS FUTUROS

Para uma aplicação completa do controle de qualidade durante os procedimentos de soldagem, são necessários a elaboração e aplicação de alguns itens recomendados para estudos futuramente. São eles:

- Elaboração de um procedimento de qualificação de soldadores;
- Elaboração de uma Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem – IEIS;
- Estudo e aplicação de métodos alternativos de ensaios não destrutivos como controle de inspeção;
- Estudo e elaboração de especificações para outros processos de soldagem, como GTAW e SMAW, que possuem boa aplicabilidade na área;
- Elaborar um procedimento para posições de soldagem até posição 6G.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. **Processo de caldeiraria: máquinas, ferramentas, materiais, técnicas de traçado e normas de segurança** / Paulo Samuel de Almeida. 1a ed., São Paulo: Erica, 2014.

ALTAN, T., **Characteristics and Applications of Various Types of Forging Equipment**. SME Technical Report MFR72-02, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, 1972.

American Society of Mechanical Engineers. **ASME section IX: qualification standard for welding and brazing procedures, welders, brazers, and welding and brazing operators**. New York: ASME; 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15151: Qualificação e certificação de caldeireiro montador - Requisitos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2015.

BAILONA, B. A. et al. **Análise de tensões em tubulações industriais: para engenheiros e projetistas**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em aço: Projeto e cálculo**. São Paulo, 2003.

BIOPDI. **Ensaio de Dobramento**. São Carlos, 2021. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-dobramento/>

BRITTON, J. N. **Corrosion at Pipe Supports: Cause and Solutions**. Houston, 2002. Disponível em: <https://stoprust.com/technical-library-items/06-pipe-supports>.

CALLISTER, W. J. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução**. 5ª edição. LTC: Rio de Janeiro, 2002.

CHAND, S. **12 Importance or Benefits of Quality Control | Production Management**. Disponível em: <https://www.yourarticlelibrary.com/production-management/>

EBISUI, E. A. **Desenvolvimento e Implantação de um Sistema de Comando Numérico para Corte Térmico de Chapas em uma Empresa Produtora de Bens de Capital sob Encomenda**. São Carlos: Universidade de São Carlos, 1993.

ESAB MIG Welding Handbook. **ESAB Welding & Cutting Products**. Belo Horizonte, 2005.

FILHO, J. C., et al. **Inspetor de Soldagem**. Vol.1. Rio de Janeiro: FBTS, 1983.

FILHO, J. L. F. **Manual para Análise de Tensões em Tubulações Industriais – Flexibilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONZÁLEZ, P. C. S. **Técnica não convencional para dobramento de tubos de parede fina usando elastômero**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

HELMAN, H., CETLIN, P. R. **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**. 2 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2015.

JOAQUIM, R.; RAMALHO, J.P. **Corte plasma x oxicorte, algumas considerações**. Contagem, 1994. Anais. São Paulo: ABS, 1994.

JURAN, J. M. **Juran's Quality Control Handbook**. McGraw Hill: Nova York, 1951.

LIMA, V. R. A. **Fundamentos de caldeiraria e tubulação industrial**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008. IX, 220 p.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. 3ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte, 2012.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 1982, 461p.

PIZONI, R; S, L; PALADINI, E. P. **Economia compartilhada: Gestão da qualidade aplicado a uma empresa do ramo de delivery de comida**. Revista Pretexto, v. 19, n. 2, p. 66-75, 2018.

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V., **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho**. São Paulo: Artliber Editora, 2008.

SILVA, A. C. S.; ARAÚJO, H. R.; MACENA, V. A.; MORENO, J. R. S.; VICENTE, A. A.; HERMENEGILDO, T. F. C.; SANTOS, T. F. A.; **Aplicação da metodologia para qualificação de procedimentos de soldagem de tubulações industriais conforme parâmetros dos códigos ASME B31.3 e ASME SECTION IX. Soldagem & Inspeção**. 2019;24:e2423. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI24.23>.

WEMAN, K. **Welding Processes Handbook**: A volume in Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining Technologies. 2ed., Cambridge: Woodhead Publishing, 2012.

WERMACK. **Standard Pipe Supports**. Disponível em:
<http://www.wermack.org/steel/pipesupports.html>

ANEXO A - Relatório fotográfico de inspeção inicial

AF	FORMULÁRIO	Código: REL-001
	RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES	Revisão: 00
		Emissão: 12/2021
		Páginas: 3

OBJETO: SUPORTES ESTRUTURAIS E DE TUBULAÇÃO	MATERIAIS: ASTM A36, AISI 304L	PROCESSOS: MIG/MAG, TIG, ER
Inspeção: Andrei Fagundes	Cargo: Supervisor de Qualidade	Data: 20/03/2022

DESCRIÇÃO: Inconformidades de projeto devido a defeitos de soldagem durante a fabricação das peças em pipe shop e campo; soldas realizadas por diferentes técnicas e sem diretriz de uma EPS qualificada e por soldadores não qualificados por norma. Todas as soldas deveriam ter largura do cordão de 6 mm e reforço de 3 mm, com penetração total, tanto para soldas de topo como filete.

FOTOS



Foto 1: Suporte estrutural em perfil L, soldado em ER. Cordão irregular, falta de fusão, porosidades.



Foto 2: Suporte estrutural em perfil U, soldado em ER e pintado. Cordão irregular, falta de fusão, mordedura



Foto 3: Suporte em perfil U e chapa grossa, soldado em MAG. Altura do reforço insuficiente, respingos.



Foto 4: Solda filete TIG em suporte de travamento na tubulação de inox. Filete contínuo não executado conforme

AF	FORMULÁRIO	Código: REL-001
	RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES	Revisão: 00
		Emissão: 12/2021
		Páginas: 3



Foto 5: Suporte improvisado para aparato de infraestrutura elétrica, em tubulação de inox, processo TIG.



Foto 6: Solda filete em vergalhão e perfil U, em ER.



Foto 7: Solda em base de inox para um tanque de água desmineralizada, processo TIG



Foto 8: Solda em contorno, perfil L. Porosidades, falta de fusão, mordedura.

AF	FORMULÁRIO	Código: REL-001
	RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE NÃO CONFORMIDADES	Revisão: 00
		Emissão: 12/2021
		Páginas: 3

FOTOS



Foto 9: Falha do cordão de solda em estrutura para tubulações, em ER devido a presença de trincas.



Foto 10: Cordão de solda sem reforço, junta de topo em suporte de tubulação, feita em ER.



Foto 11: Solda realizada em ER em estrutura de pipe rack de tubulações.



Foto 12: Ponto de solda irregular em suporte de tubulação.

ANEXO B - Especificação de Procedimento de Soldagem – EPS

AF

Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS)

EPS MAG

FOLHA

REVISÃO

1 / 4

1

IDENT.: AF-EPS-001

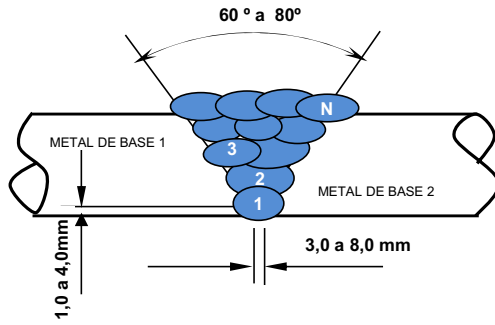
NORMA DE REF : ASME IX - 2019

DATA :

20/03/2022

PROCESSO DE SOLDAGEM 1
PROCESSO DE SOLDAGEM 2
TIPO : MAG (GMAW) **DESCRIÇÃO :** SEMI AUTOMÁTICO

TIPO : N/A **DESCRIÇÃO :** N/A

CROQUI DA JUNTA


Detalhe da Junta de Topo c/ Solda de Penetração Total (JTPT)

METAL DE BASE 1
MATERIAL
DIMENSÕES
ESPECIFICAÇÃO : ASTM A36 **ESPESSURA :** 9,5 mm

COBRE JUNTA : SIM **DIÂMETRO :** N/A

P-Number : 1 **GRUPO 1**
METAL DE BASE 2
MATERIAL
DIMENSÕES
ESPECIFICAÇÃO : ASTM A36 **ESPESSURA :** 9,5 mm

COBRE JUNTA : SIM **DIÂMETRO :** N/A

P-Number : 1 **GRUPO 1**
PARÂMETROS
CONDIÇÃO DE QUALIFICAÇÃO
FAIXA QUALIFICADA
POSIÇÃO

3G

Todas as posições

NOTAS: Faixa qualificada para qualquer P number 8, grupo 1 ou 2 e espessura de 1,5 a 19,0 mm, sem impacto.

MATERIAL DE ADIÇÃO

CONDICÃO	PASSE	CONSUMÍVEL DE SOLDAGEM							DEPÓSITO (mm)	
		ESPEC. (AWS)	CLASSIFICAÇÃO (AWS)	Nº F	Nº A	DIÂM. (mm)	FABRICANTE	MARCA COMERCIAL	PROCESSO 1	PROCESSO 2
QUALIFICAÇÃO	1º Raiz	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	2,0	N/A
	2º Reforço	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	2,0	N/A
	3º Enchimento	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	5,5	N/A
	4º Goivagem	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	2,0	N/A
FAIXA QUALIFICADA	1º Raiz	A 5.18	Qualquer com mesmo F-number e A-number	6	1	Qualquer	Qualquer homologado pela FBTS	Qualquer homologado pela FBTS	1,0 a 9,5	N/A
	2º Reforço	A 5.18	Qualquer com mesmo F-number e A-number	6	1	Qualquer	Qualquer homologado pela FBTS	Qualquer homologado pela FBTS	1,0 a 9,5	N/A
	3º Enchimento	A 5.18	Qualquer com mesmo F-number e A-number	6	1	Qualquer	Qualquer homologado pela FBTS	Qualquer homologado pela FBTS	1,0 a 9,5	N/A
	4º Goivagem	A 5.18	Qualquer com mesmo F-number e A-number	6	1	Qualquer	homologado pela FBTS	Qualquer homologado pela FBTS	1,0 a 9,5	N/A

INSPETOR DE SOLDAGEM NÍVEL 2
COORDENADOR DE CQ
CLIENTE

DATA :

DATA :

VISTO :

VISTO :

AF	Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS)					EPS MAG	
						FOLHA	REVISÃO
						2 / 4	1
IDENT.: AF-EPS-001					NORMA DE REF : ASME IX - 2019		DATA : 20/03/2022
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS							
REGIÃO DA SOLDA	CORRENTE					TENSÃO	
	TIPO		POLARIDADE			INTENSIDADE	(V)
	CC	CA	DIRETA	INVERSA	NÃO APLICÁVEL	(A)	
1º Raiz	X		-	X	-	100-105	22-25
2º Reforço	X		-	X	-	115-117	22-25
3º Enchimento	X		-	X	-	115-118	22-25
4º Goivagem	X		-	X	-	115-118	22-25
CONTROLE DE TEMPERATURA							
PARÂMETROS		QUALIFICAÇÃO			FAIXA QUALIFICADA		
PRÉ-AQUECIMENTO		N/A			N/A		
TEMPERATURA DE INTERPASSE (°C)		≤ 250			≤ 250		
MEIO DE CONTROLE		PIRÔMETRO			PIRÔMETRO OU LÁPIS DE CONTATO		
PÓS-AQUECIMENTO		N/A			N/A		
GASES							
APLICAÇÃO	TIPO	COMPOSIÇÃO (%)	FABRICANTE	DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	VAZÃO (l / min)		
TOCHA	Argônio + CO2	85+15	WHITE MARTINS	13	22		
PURGA	-	-	-	-	-		
TÉCNICA DE SOLDAGEM							
REGIÃO DA SOLDA	PROGRESSÃO	TIPO DE PASSE	OSC. MÁX. (mm)	VELOCIDADE (cm / min)	ENERGIA DE SOLDAGEM (J / cm)		
RAIZ	Ascendente	RETILÍNEO	7,0	N/A	N/A		
REFORÇO	Ascendente	RETILÍNEO	9,5	N/A	N/A		
ENCHIMENTO	Ascendente	RETILÍNEO	8,5	N/A	N/A		
GOIVAGEM	Ascendente	RETILÍNEO	9,0	N/A	N/A		
MÉTODO DE LIMPEZA E PROTEÇÃO				MÉTODO DE GOIVAGEM			
BISÉIS E RAIZ	ESCOVA ROTATIVA / ESMERILHADEIRA			ESMERILHAMENTO			
ENCHIM/ACAB	ESCOVAMENTO						
TRATAMENTO TÉRMICO							
TIPO DE TRATAMENTO : N/A							
TAXA DE AQUECIMENTO MÁXIMA (C° / HORA) :		N/A		TEMPERATURA DE PATAMAR (°C) :		N/A	
TAXA DE RESFRIAMENTO MÁXIMA (C° / HORA) :		N/A		TEMPO DE PATAMAR (HORAS) :		N/A	
DIFERENÇA MÁXIMA DE TEMPERATURAS ENTRE TERMOPARES (°C) :				N/A			
FAIXA DE TEMPERATURAS CONTROLADA (°C) :		N/A		DUREZA BRINELL (HB) :		N/A	
INSTRUMENTOS DE CONTROLE		TIPO	N/A				
		TAG	N/A				
INSPECTOR DE SOLDAGEM NÍVEL 2		COORDENADOR DE CQ			CLIENTE		
DATA :		DATA :					
VISTO :		VISTO :					

**ANEXO C - Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem -
RQPS**

AF

REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)

RQPS MAG

FOLHA

REVISÃO

1 / 2

1

IDENT.: AF-RQPS-001

NORMA DE REF: ASME IX - 2019 / ASME V - 2019

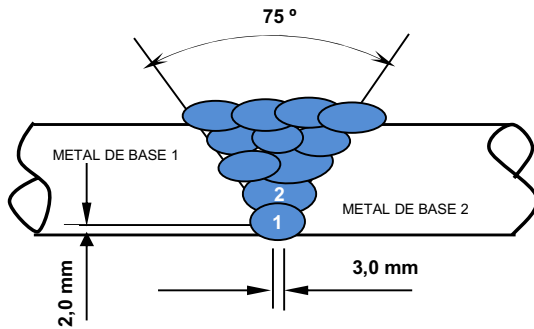
DATA :

20/03/2022

PROCESSO DE SOLDAGEM 1**PROCESSO DE SOLDAGEM 2**

TIPO : MAG (GMAW) DESCRIÇÃO : SEMI AUTOMÁTICO

TIPO : N/A DESCRIÇÃO : N/A

CROQUI DA JUNTA

Detalhe da Junta de Topo c/ Solda de Penetração Total (JTPT)

METAL DE BASE 1**MATERIAL****DIMENSÕES**

ESPECIFICAÇÃO : ASTM A36

ESPESURA : 9,5 mm

COBRE JUNTA:

SIM

DIÂMETRO : N/A

P-Number : 1 GRUPO 1

METAL DE BASE 2**MATERIAL****DIMENSÕES**

ESPECIFICAÇÃO : ASTM A36

ESPESURA : 9,5 mm

COBRE JUNTA:

SIM

DIÂMETRO : N/A

P-Number : 1 GRUPO 1

CHANFRO**POSICÃO****PROGRESSÃO**

"V"

3G

Ascendente

NOTAS:

MATERIAL DE ADIÇÃO

CONDIÇÃO	PASSE	CONSUMÍVEL DE SOLDAGEM							DEPÓSITO (mm)	
		ESPEC. (AWS)	CLASSIFICAÇÃO (AWS)	Nº F	Nº A	DIÂM. (mm)	FABRICANTE	MARCA COMERCIAL	PROCESSO 1	PROCESSO 2
	1º Raiz	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	2,0	N/A
	2º Reforço	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	2,0	N/A
	3º Enchimento	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	5,5	N/A
	4º Goivagem	A 5.18	ER 70S - 6	6	1	1,0	Böhler	SG-2	2,0	N/A

INSPECTOR DE SOLDAGEM NÍVEL 2

COORDENADOR DE CQ

CLIENTE

DATA :

DATA :

VISTO :

VISTO :

AF

REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)

RQPS MAG

FOLHA

2 / 2

REVISÃO

1

IDENT.: AF-RQPS-001

NORMA DE REF: ASME IX - 2019 / ASME V - 2019

DATA :

20/03/2022

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

REGIÃO DA SOLDA	CORRENTE					TENSÃO (V)	
	TIPO		POLARIDADE				INTENSIDADE (A)
	CC	CA	DIRETA	REVERSA	NÃO APLICÁVEL		
1º Raiz	X		X	-	-	100-105	22-25
2º Reforço	X		X	-	-	115-117	22-25
3º Enchimento	X		X	-	-	115-118	22-25
4º Goivagem	X		X	-	-	115-118	22-25

CONTROLE DE TEMPERATURA

PARÂMETROS	QUALIFICAÇÃO	MEDIÇÕES
PRÉ-AQUECIMENTO	18°C	Alicate Volt-Ampere e Termômetro de contato
TEMPERATURA DE INTERPASSE	≤ 250°C	
MEIO DE CONTROLE	PIRÔMETRO	
PÓS-AQUECIMENTO	N/A	

GASES

APLICAÇÃO	TIPO	COMPOSIÇÃO (%)	FABRICANTE	DIÂMETRO DO BOCAL (mm)	VAZÃO (l/min)
TOCHA	Argônio + CO2	85+15	WHITE MARTINS	13	22
PURGA	-	-	-	-	-

TÉCNICA DE SOLDAGEM

REGIÃO DA SOLDA	PROGRESSÃO	TIPO DE PASSE	OSC. MÁX. (mm)	VELOCIDADE (cm/min)	ENERGIA DE SOLDAGEM (J/cm)
RAIZ	N/A	RETILÍNEO	7,0	N/A	N/A
REFORÇO	N/A	RETILÍNEO	9,5	N/A	N/A
ENCHIMENTO	N/A	RETILÍNEO	8,5	N/A	N/A
GOIVAGEM	N/A	RETILÍNEO	9,0	N/A	N/A

MÉTODO DE LIMPEZA E PROTEÇÃO

MÉTODO DE GOIVAGEM

BISÉIS E RAIZ	ESCOVA ROTATIVA / ESMERILHADEIRA	ESMERILHAMENTO
ENCHIM/ACAB	ESCOVAMENTO	

TRATAMENTO TÉRMICO

TIPO DE TRATAMENTO :	N/A		
TAXA DE AQUECIMENTO MÁXIMA (C°/HORA) :	N/A	TEMPERATURA DE PATAMAR (C°) :	N/A
TAXA DE RESFRIAMENTO MÁXIMA (C°/HORA) :	N/A	TEMPO DE PATAMAR (HORAS) :	N/A
DIFERENÇA MÁXIMA DE TEMPERATURAS ENTRE TERMOPARES (C°) :	N/A		
FAIXA DE TEMPERATURAS CONTROLADA (C°) :	N/A	DUREZA BRINELL (HB) :	N/A
INSTRUMENTOS DE CONTROLE	TIPO	N/A	
	TAG	N/A	

INSPECTOR DE SOLDAGEM NÍVEL 2

COORDENADOR DE CQ

CLIENTE

DATA :

DATA :

VISTO :

VISTO :

AF

**REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE
PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM
(RQPS)**

RQPS MAG

FOLHA

REVISÃO

3 / 4

1

IDENT.: AF-RQPS-001

NORMA DE REF: ASME IX - 2019 / ASME V - 219

DATA :

20/03/2022

SUMÁRIO DE EXAMES NÃO DESTRUTIVOS

TIPO DE EXAME	NORMA (S) APLICÁVEL (IS)	INSPECTOR RESPONSÁVEL	LAUDO	RELATÓRIO
VISUAL	ASME V 2019	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

SUMÁRIO DE ENSAIO DE TRAÇÃO

NORMAS	RETIRADA DE C. PROVAS :		CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO :			
	TÉCNICA DE EXECUÇÃO :		AVALIAÇÃO DE RESULTADOS :			
	ASME IX	ASME IX	ASME IX	ASME IX		
	ASME IX	ASME IX	ASME IX	ASME IX		
IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE PROVA	DIMENSÕES DO CP		CARGA (N)	TENSÃO (Mpa)	LOCALIZAÇÃO DA FRATURA	LAUDO
	DIMENSÕES (mm)	AREA (mm ²)				
TJS 1	9,4 x 19,0	178,6	90.760	508	METAL DE BASE	APROVADO
TJS 2	9,4 x 19,0	178,6	92.280	517	METAL DE BASE	APROVADO

SUMÁRIO DE ENSAIO DE DOBRAMENTO

NORMAS	RETIRADA DE C. PROVAS :		CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO :			
	ÂNGULO DE DOBRAMENTO:		DIÂMETRO DO CUTELO: 40,0 mm			
	ASME IX	ASME IX	ASME IX	ASME IX		
	180°	180°	40,0 mm	40,0 mm		
CORPO DE PROVA		TIPO DE ENSAIO	ESPESSURA DO CP (mm)	DESCONTINUIDADES	LAUDO	RELATÓRIO
IDENTIFIC.	TIPO					
DL-001-01	LATERAL	DL	9,5	ISENTO	APROVADO	
DL-001-02	LATERAL	DL	9,5	ISENTO	APROVADO	
DL-001-03	LATERAL	DL	9,5	ISENTO	APROVADO	
DL-001-04	LATERAL	DL	9,5	ISENTO	APROVADO	

SUMÁRIO DE ENSAIO DE DUREZA

NORMAS : -			QUANTIDADE DE PONTOS INSPECIONADOS : -			
QT DE PEÇAS: -	DUREZA: -	LAUDO: -	RELATÓRIO: -			
FACE	METAL DE BASE MBF (LADO 1)	ZATF (LADO 1)	METAL DE SOLDA	METAL DE SOLDA	ZATF (LADO 2)	METAL DE BASE MBF (LADO 2)
Nº DOS PONTOS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DUREZA (HV)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CENTRO DA SOLDA	METAL DE BASE	ZAT	METAL DE SOLDA	METAL DE SOLDA	ZAT	METAL DE BASE
Nº DOS PONTOS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DUREZA (HV)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RAIZ	METAL DE BASE MBR (LADO 1)	ZATR (LADO 1)	METAL DE SOLDA	METAL DE SOLDA	ZATR (LADO 2)	METAL DE BASE MBR (LADO 2)
Nº DOS PONTOS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
DUREZA (HV)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

SUMÁRIO DE ENSAIO DE IMPACTO (ENERGIA ABSORVIDA EM JOULES)

TEMP. IMPACTO	Nº CP	LOCAL ENTALHE	ENERG. ABSORV	Nº CP	LOCAL ENTALHE	ENERG. ABSORV	Nº CP	LOCAL ENTALHE	ENERG. ABSORV	Nº CP	LOCAL ENTALHE	ENERG. ABSORV	M	LOCAL ENTALHE	M (MÉDIA)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIM. DO CP (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

INSPECTOR DE SOLDAGEM NÍVEL 2

COORDENADOR DE CQ

CLIENTE

DATA : 13/02/2006

DATA :

VISTO :

VISTO :

AF	REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (RQPS)		RQPS MAG	
			FOLHA	REVISÃO
			4 / 4	1
IDENT.: AF-RQPS-001			NORMA DE REF.: ASME IX - 2019 / ASME V - 219	
			DATA :	20/03/2022

SUMÁRIO DE CERTIFICADOS				
INSTRUMENTO / EQUIPAMENTO	TAG	CERTIFICADO	DATA DE CALIBRAÇÃO	LABORATÓRIO
ALICATE V/A	-	-	-	-
CALIBRE DE SOLDA	-	-	-	-
PAQUÍMETRO	-	-	-	-
TERMÔMETRO DIGITAL COM MIRA LASER	-	-	-	-
MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIO	-	-	-	-

OBSERVAÇÕES FINAIS

AF	RELATÓRIO DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO ENSAIO VISUAL	RELATÓRIO: EV-003/20 FOLHA: 01/01 DATA:									
Cliente: Diversos Contrato: Diversos Obra: Diversas Local de Ensaio: Pipe shop Equipamento: CP-016 (Corpo de Prova para Qualificação de EPS)											
Norma de Referência: ASME V 2019 Critério de Aceitação: ASME IX 2019 IEIS: Não Aplicável Procedimento n°.: END-001 Revisão: 0 Instrumentos utilizados: Lanterna, frena, calibre											
Metal de Base: ASTM A36 X A36 Metal de Adição: ER70S-6 Lote: voestalpine Böehler 1804506											
Estado da Superfície: Escovada Iluminação: > 1100 LUX Método de Ensaio: Direto											
COMPONENTE		Junta	TIPO DE JUNTA	Ø	SOLDADOR			COTA	COMPR.	DESCONT.	LAUDO
CP-016		J-01	Topo	-	Raiz	Ench. Acab.	Proc.Sold.	-	-	-	A
-		-	-	-	Obs.1	Obs. 1	GMAW	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 - Soldador qualificado											
INSPECTOR DE SOLDAGEM NÍVEL 2				COORDENADOR DE CQ				CLIENTE			
DATA : 23/03/2022				DATA :							
VISTO :				VISTO :							

ANEXO D - Relatório de inspeção final

AF	FORMULÁRIO	Código: REL-002
	RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE INSPEÇÃO FINAL	Revisão: 00
		Emissão: 04/2022
		Páginas: 3

OBJETO: SUPORTES ESTRUTURAIS E DE TUBULAÇÃO	MATERIAIS: ASTM A36	PROCESSOS: GMAW
Inspeção: Andrei Fagundes	Cargo: Supervisor de Qualidade	Data: 16/04/2022

DESCRIÇÃO: Peças inspecionadas por ensaio visual e por líquido penetrante, segundo a norma de referência ASME IX – 2019. Laudo aprovado.

FOTOS



AF

FORMULÁRIO

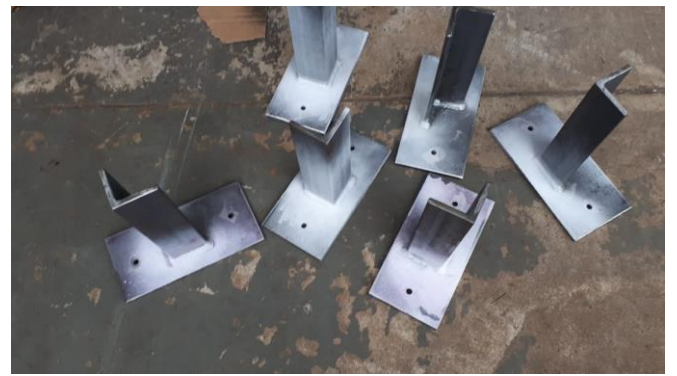
RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE INSPEÇÃO FINAL

Código: REL-002

Revisão: 00

Emissão: 04/2022

Páginas: 3



AF

FORMULÁRIO

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE INSPEÇÃO FINAL

Código: REL-002

Revisão: 00

Emissão: 04/2022

Páginas: 3

