

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CHARLESTON RAMOS SOEIRA

**ANÁLISE DE FALHA EM UM CONJUNTO SOLDADO DA CABEÇA
DE UMA GARRA FLORESTAL**

**LAGES
2018**

CHARLESTON RAMOS SOEIRA

**ANÁLISE DE FALHA EM UM CONJUNTO SOLDADO DA CABEÇA
DE UMA GARRA FLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário Unifacvest como parte dos requisitos para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof.: Alisson Ribeiro de Oliveira

**LAGES
2018**

CHARLESTON RAMOS SOEIRA

**ANÁLISE DE FALHA EM UM CONJUNTO SOLDADO DA CABEÇA
DE UMA GARRA FLORESTAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário Unifacvest como parte dos requisitos para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Esp.: Alisson Ribeiro de Oliveira

Lages, SC , __ de _____ de 2018. Nota _____

Prof. Esp. Alisson Ribeiro de Oliveira

Prof. Dr. Rodrigo Botan, Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

**LAGES
2018**

AGRADECIMENTOS

À minha família em primeiro lugar, pelo apoio a meus projetos, compreensão e incentivo ao aprendizado desde criança. Minha mãe Ivonete Antunes Ramos Soeira, meu pai José Erlito Netto Soeira e minha irmã Ana Paula Ramos Soeira.

Ao meu orientador Alisson Ribeiro de Oliveira pela disponibilidade e apoio na construção deste projeto.

À professora Tamara Zanette pela disponibilidade e tempo dedicado ao trabalho.

Ao CEDUP Industrial de Lages por disponibilizar as dependências para a execução deste trabalho.

À empresa e toda equipe Potenza pelo apoio, disponibilidade em ensinar e por acreditar em meu potencial.

Aos amigos que estiveram sempre ao meu lado e compartilharam das dificuldades e vitórias ao longo deste percurso.

À todos os professores que tive durante minha vida escolar e acadêmica.

À Ayrton Senna da Silva, por despertar meu interesse por Fórmula 1, o qual se transformou em um interesse pela engenharia, e acabou por se tornar uma profissão.

À Deus e todas as forças do universo que me deram impulso suficiente para concluir mais esta etapa em minha vida.

ANÁLISE DE FALHA EM UM CONJUNTO SOLDADO DA CABEÇA DE UMA GARRA FLORESTAL

Charleston Ramos Soeira¹
Alisson Ribeiro de Oliveira²

RESUMO

Atualmente tanto na indústria como em nosso cotidiano, a soldagem desempenha um papel fundamental na fabricação de produtos. Com o passar dos anos, essa atividade evoluiu cada vez mais, impulsionando nossos processos produtivos e ampliando as aplicações e efetividade de projetos mecânicos na engenharia. Essa vazão e crescimento de projetos mecânicos, aliada com a aplicabilidade da solda a qual obteve um ganho em tecnologia acentuado, trouxe novos desafios nas áreas da engenharia, onde pontos de soldagem desempenham papel fundamental em projetos de pequena a grande escala, implicando muitas vezes no custo e na segurança. Com isso, tornou-se necessário aprofundar os estudos nessa área, afim de entender o que consiste em uma solda de qualidade, e mais importante, quais fatores fazem com que um conjunto soldado apresente uma falha, bem como a elaboração de instruções e normas de trabalho que regulamentem essa atividade. Assim a análise de conjuntos soldados tornou-se um ponto importante na garantia da execução de um projeto mecânico de qualidade, garantindo que as especificações e dimensionamentos efetuados pelo engenheiro na fase de projeto, sejam cumpridos ao longo do desenvolvimento do produto, evitando falhas que comprometem seu desempenho, e geram custos a empresa responsável, além de garantir a segurança das pessoas envolvidas, direta ou indiretamente com o mesmo. Portanto, a metalografia desempenha um papel importante na análise da qualidade de um conjunto soldado, pois através dela podemos verificar aspectos inerentes aos materiais empregados, seja no metal base ou no de adição, observando suas constituições químicas e estruturas, além dos aspectos físicos como deposição, penetração e qualidade da soldagem. Aliando normas AWS a inspeções, é possível então aperfeiçoar e garantir a qualidade e confiabilidade de projetos mecânicos que utilizam processos de solda. Assim ao nos depararmos com uma falha, é possível, usando desses artifícios, efetuarmos uma investigação do ocorrido, identificando desvios de qualidade, gerando laudos que são capazes de fornecer informações importantes que nos permitem implementar melhorias, as quais garantiram a qualidade do produto final.

Palavras-chave: Solda, metalografia, análise.

¹ Acadêmico da 10ª fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.

² Professor Especialista do Centro Universitário UNIFACVEST

FAILURE ANALYSIS OF A WELDING JOINT IN A HEAD OF A FORESTRY CLAW

Charleston Ramos Soeira³
Alisson Ribeiro de Oliveira⁴

ABSTRACT

Nowadays both in industry and our daily lives, welding plays a fundamental role in the manufacture of products. Over the years, this activity has evolved more and more, boosting our productive processes and expanding the applications and effectiveness of mechanical engineering projects. This flow and growth of mechanical designs, coupled with the applicability of the weld which has gained a marked increase in technology, has brought new challenges in the areas of engineering, where welding points play a fundamental role in small to large scale projects, often involving cost and safety. With this, it became necessary to deepen the studies in this area, in order to understand what a quality weld consists of, and more importantly, what factors cause a welded assembly to fail, as well as the elaboration of instructions and working norms to regulate this activity. Thus, the analysis of welded assemblies has become an important point in guaranteeing the execution of a quality mechanical project, ensuring that the specifications and sizing done by the engineer in the design phase, are fulfilled throughout the development of the product, avoiding failures that compromise their performance, and generate costs for the company responsible, in addition to ensuring the safety of the people involved, directly or indirectly with it. Therefore, metallography plays a very important role in the analysis of the quality of a welded joint, because through it we can verify aspects inherent to the materials used, either in the base metal or in the addition material, observing its chemical constitutions and structures, besides the physical aspects such as deposition, penetration and quality of welding. Combining AWS standards with inspections, it is then possible to perfect and ensure the quality and reliability of mechanical designs using welding processes. So when faced with a failure, it is possible, using these devices, to investigate what has happened, identifying deviations of quality, and generate reports that are capable of providing important information that allows us to implement improvements, which ensured the quality of the final product.

Keywords: Welding, metallography, analysis.

³ Academic of the 10th phase of Mechanical Engineering Course in the Centro Universitario UNIFACVEST.

⁴ Teacher Specialist of Centro Universitario UNIFACVEST

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Soldagem	13
2.2 Formação da junta soldada	14
2.3 Desenvolvimento e utilização dos processos	16
2.4 Processos de soldagem	17
2.4.1 Soldagem por oxigás	18
2.4.2 Soldagem com eletrodo revestido	18
2.4.2.1 Classificação dos eletrodos revestidos conforme AWS	19
2.4.3 Solda MIG/MAG.....	21
2.4.3.1 Consumíveis do processo – Gases.....	23
2.4.3.2 Consumíveis do processo – metais de adição.....	24
3 DEFEITOS DE SOLDA.....	25
3.1 Falta de penetração	26
3.2 Falta de fusão.....	26
3.3 Mordedura	28
3.4 Porosidade	29
3.5 Trincas longitudinais	30
4. A PROPAGAÇÃO DE TRINCA NA SOLDA.....	32
5 INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA NA SOLDAGEM.....	34
6 MÉTODOS PARA DIMINUIR A FRAGILIZAÇÃO EM TORNO DA LINHA DE	34
7 MATERIAIS EMPREGADOS NO PROJETO	37
7.1 ASTM A36.....	37
7.2 OPTIM 700 QL	38
8 INSPEÇÃO NA SOLDAGEM.....	39
8.1 Metalografia	40

8.1.2 Líquido penetrante.....	41
8.1.3 Preparação do corpo de prova	41
8.1.4 Aplicação do líquido penetrante	43
8.1.5 Aplicação do revelador.....	44
8.1.6 Inspeção.....	44
9 PROBLEMA A SER PESQUISADO	46
9.1 Garra florestal para movimentação de madeira.....	46
9.1.2 Garra florestal traçadora	46
9.2 Falha no conjunto soldado.....	47
9.3 Projeto.....	48
10 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
10.1 Preparação corpo de prova	51
10.2 Testes laboratoriais	54
10.3 Líquido penetrante.....	58
11 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
12 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	67
ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formação teórica de uma solda pela aproximação das superfícies.....	14
Figura 2 - Soldagem por pressão ou deformação.....	15
Figura 3 - (a) Representação esquemática da solda por fusão. (b) Macrografia de uma junta.....	15
Figura 4 - Classificação de nomenclatura dos eletrodos revestidos.....	19
Figura 5 - Processo básico de soldagem MIG/MAG.....	23
Figura 6 - Classificação dos arames para soldagem, segundo especificação AWS.....	25
Figura 7 - Exemplos de falta de penetração.....	26
Figura 8 - Exemplos de mordedura.....	28
Figura 9 - Exemplos de porosidade.....	29
Figura 10 - Exemplo de trinca longitudinal.....	30
Figura 11 - Estrutura esquemática da zona termicamente afetada.....	32
Figura 12 - Mudança na temperatura de transição na soldagem.....	33
Figura 13 - Fatores que influem na iniciação da fratura frágil.....	36
Figura 14 - Ensaios e Inspeção de Materiais Metálicos.....	40
Figura 15 - Influência da posição do corte de uma porca sobre seu aspecto macrográfico.....	42
Figura 16 - Garra Florestal Potenza GD80.....	46
Figura 17 - Garra Traçadora Potenza.....	47
Figura 18 - Garra GD135S.....	48
Figura 19 - Desenho técnico GD135S.....	49
Figura 20 - Especificação da sigla AWS 5.20 E71T-1C.....	49
Figura 21 - Imagem do componente que apresentou a falha.....	50
Figura 22 - Detalhe da solda e pontos de ruptura da chapa.....	50
Figura 23 - Extração da bucha metálica.....	51
Figura 24 - Corte do corpo de prova.....	52
Figura 25 - Resultado do corte do conjunto soldado.....	52
Figura 26 - Falhas de penetração de solda.....	53
Figura 27 - Preparação das superfícies.....	53
Figura 28 - Superfícies acabadas do corpo de prova.....	54
Figura 29 - Preparação da solução para o teste macrográfico.....	55
Figura 30 - Ataque de ácido clorídrico na superfície do corpo de prova.....	56
Figura 31 - Peça imersa em Nital 10%.....	57
Figura 32 - Remoção da tinta ao longo do longo do cordão de solda.....	58

Figura 33 - Superfície livre da tinta.....	58
Figura 34 - Aplicação do líquido penetrante.....	59
Figura 35 - Remoção do líquido penetrante.....	59
Figura 36 - Aplicação do revelador.....	60
Figura 37 - Resultado da ação do Nital 10%.....	60
Figura 38 - Resultado do teste macrográfico.....	61
Figura 39 – Área do chanfro com deficiência na fusão.....	61
Figura 40 - Resultado do líquido penetrante.....	63
Figura 41 - Área de solda da empresa.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos processos de soldagem segundo a AWS.....	17
Tabela 2 - Composição química dos eletrodos revestidos de baixa liga.....	20
Tabela 3 - Posição de soldagem dos eletrodos revestidos.....	20
Tabela 4 - Composição química dos eletrodos para aços liga.....	21
Tabela 5 - Normas AWS.....	21
Tabela 6 - Identificação dos Gases, segundo AWS A 5.32.....	24
Tabela 7 - Especificação AWS para materiais de adição para soldagem MIG/MAG.....	25
Tabela 8 - Defeito x Causa na Soldagem.....	31
Tabela 9 - Fatores que influem na iniciação da fratura frágil.....	36
Tabela 10 - Propriedades do ASTM A36.....	38
Tabela 11 - Propriedades mecânicas do OPTIM 700.....	39
Tabela 12 - Propriedades químicas do OPTIM 700.....	39
Tabela 13 - Etapas da aplicação do líquido penetrante.....	45
Tabela 14 - Composição química e aplicação dos reagentes.....	55

ANEXOS

Anexo 1 – Termo de solicitação de mudança.....	65
--	----

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem na área de engenharia mecânica, compreende uma etapa de extrema importância na construção de uma peça ou estrutura, e sua execução deve atender tantos parâmetros de qualidade, como de segurança. Portanto, o acompanhamento de um conjunto soldado, não só é de importância dimensional, mas também possui um impacto direto na segurança de durabilidade de um projeto mecânico.

Portanto, o presente trabalho pretende realizar uma análise de falha, buscando as causas do problema, afim de gerar informações capazes de contribuir para a melhoria do processo dentro da empresa, e prevenir novas incidências do mesmo problema.

O equipamento, formado por conjuntos soldados, apresentou uma trinca na região de solda, que resultou na quebra e inutilização do mesmo. Conjunto soldado este que, constitui-se de um mancal soldado à uma chapa metálica, os quais fazem parte da cabeça de uma garra florestal utilizada para a movimentação de madeira, aliada a um dispositivo de corte. A união destes dois acessórios resulta na formação de uma garra traçadora, transformando assim um simples implemento de movimentação de carga em uma máquina capaz de ampliar o seu escopo de utilização, oferecendo uma maior agilidade de produção para o ramo madeireiro.

Para esse estudo, utilizaremos ensaios metalográficos, bem como sua fundamentação teórica, afim de revelar a qualidade da solda, sua penetração na peça, informações sobre os materiais, operação do equipamento, além de conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia mecânica.

A análise metalográfica será efetuada sobre um corpo de prova, proveniente do conjunto defeituoso, que reúne todos os materiais utilizados no projeto. Para a isso, a superfície da peça será preparada com auxílio de uma politriz metalográfica, e em seguida atacada com ácidos para a observação do cordão de solda e fusão dos materiais.

Busca-se então, encontrar indícios que ajudem a entender as causas originárias do problema, afim de que com essas informações, seja possível uma melhoria nos processos produtivos da empresa, evitando a ocorrência dos mesmos defeitos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Soldagem

A soldagem é usada na união de componentes estruturais metálicos e equipamentos, oferecendo vantagem em relação a outros processos de união por conta da sua simplicidade e economia, uma vez que a quantidade de material necessário para a união é pequena.

SOLDAGEM: É a operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas necessárias ao seu desempenho.

SOLDA: É a junta resultante da operação de soldagem. (NERIS, 2012)

Sua aplicação abrange diversos campos da engenharia, bem como também na função de reparo e manutenção, até o preenchimento de falhas. Mesmo não constituindo o objetivo principal de uma estrutura, a solda tem o poder de afetar completamente o projeto, relacionando-se com fatores econômicos e de segurança. Portanto seu estudo se mostra de extrema importância.

Classicamente a soldagem é considerada como um processo de união, porém na atualidade, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais. Diferentes processos relacionados a soldagem são usados para corte de peças metálicas e em muitos aspectos estas operações se assemelham a operações de soldagem. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011)

Para OKUMURA e TANIGUCHI (1982), além do projeto adequado da junta de solda, é necessário seguir a sequência de operações, que inclui a qualificação dos procedimentos e dos soldadores, bem como a seleção dos métodos de inspeção, para garantir à estrutura as características funcionais segundo as quais foi concebida e projetada.

Mesmo constituindo um método simples, essa ação compreende uma quantidade bastante grande de conhecimentos que devem ser convergidos durante a execução da tarefa, as quais abrangem a engenharia de soldagem, conhecimentos estruturais, mecânicos, químicos, físicos e de metalurgia.

A soldagem é o mais importante método de processo de união de metais utilizado na indústria. Em conjunto com a brasagem, tem importante aplicação na indústria microeletrônica

até a fabricação de estruturas com centenas ou milhares de toneladas. É utilizada na fabricação de estruturas simples, como grades e portões, assim como em aplicações com elevado grau de responsabilidade, como em indústrias químicas, petrolíferas, nucleares, até criação de peças e confecção de objetos de arte.

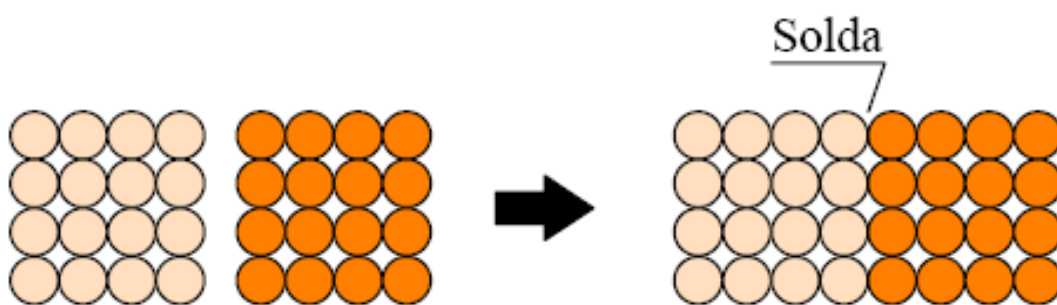
2.2 Formação da junta soldada

Átomos localizados no interior da peça são cercados por átomos vizinhos. Assim, cada átomo está em sua condição de energia mínima, não tendendo a se ligar com nenhum átomo extra.

De uma forma simplificada, uma peça metálica pode ser considerada como formada por um grande número de átomos dispostos em um arranjo espacial característico (estrutura cristalina). (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011)

Na superfície do sólido, esta situação não existe, pois, os átomos possuem ligações com uma quantidade menor de vizinhos, elevando assim seu grau de energia, que só é reduzida com a ligação de novos átomos. Para que essa ligação possa ocorrer, aproximamos duas peças metálicas a uma distância pequena, que promova essa ligação permanente, até que uma solda se forme entre os corpos. Esse efeito pode ser obtido com facilidade ao encostarmos as superfícies de dois cubos de gelo, por exemplo.

Figura 1 - Formação teórica de uma solda pela aproximação das superfícies



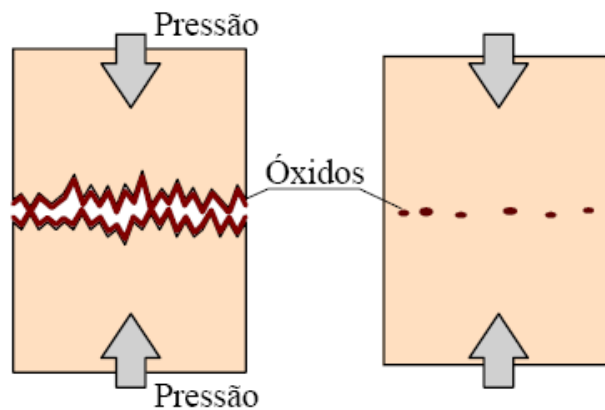
Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE (2011)

Exceto em condições especiais isto não ocorre com duas peças metálicas, a explicação para isto está na existência de obstáculos que impedem essa aproximação. Podem ser basicamente dois fatores.

As superfícies metálicas mesmo polidas apresentam uma grande rugosidade, de caráter microscópico, ocorrendo esse encontro em apenas poucos pontos, de modo que as ligações formadas são insuficientes. As superfícies metálicas geralmente estão recobertas por camadas de óxido, umidade, gordura, poeira e etc, o que impede o contato real, prevenindo a formação da solda, resultando em ligações químicas incompletas.

Portanto há dois métodos principais para transpor tais obstáculos, os quais originam os dois principais grupos de solda. O primeiro consiste na deformação da superfície de contato, promovendo a aproximação dos átomos. As peças são aquecidas localmente de modo a promover a deformação das superfícies de contato.

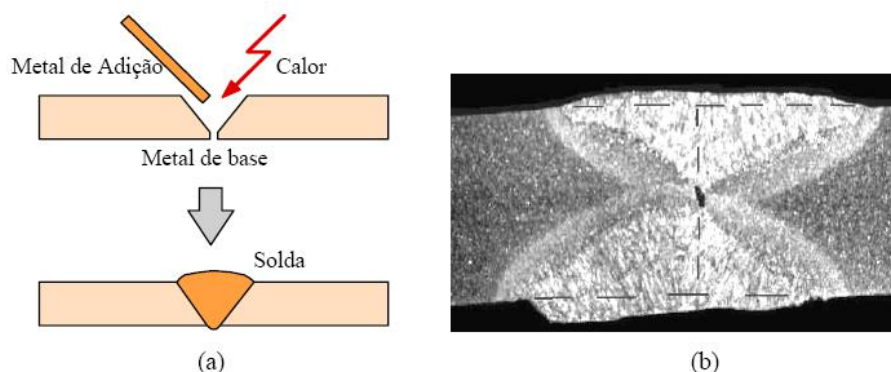
Figura 2 - Soldagem por pressão ou deformação



Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE (2011)

O segundo, portanto, se baseia na aplicação de calor localizado na região onde se formará a junta, até que o material que a compoñha se funda com o material base. O resultado dessa fusão gera a eliminação das superfícies entre as peças, e a solidificação desse material gera o que chamamos de solda.

Figura 3 - (a) Representação esquemática da solda por fusão. (b) Macrografia de uma junta.



Fonte: OKUMURA e TANIGUCHI (2012)

2.3 Desenvolvimento e utilização dos processos

Desde sua criação, os processos de soldagem elétrica impulsionam o aperfeiçoamento de projetos e modernização das estruturas, que em contrapartida são também impulsionados pelo desafio dos mesmos. Fatos históricos tem grande contribuição para tal.

Em 1921, o primeiro navio oceânico inteiramente soldado foi lançado na Inglaterra. Em 1927, uma gigantesca ponte ferroviária soldada foi edificada em Turtle Creek, Pensilvânia, Estados Unidos. Naquele mesmo ano, também foi construído nos Estados Unidos o edifício Sharon, o primeiro arranha-céu soldado da História. (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982)

Tais construções coincidiram com a fase onde houve um crescimento no campo da soldagem, pois antes disso a operação era apenas usada em área de pouca responsabilidade, ou em serviços de reparo de estruturas. Devemos destacar também que, quando há um aumento da incidência do uso de um determinado processo, temos também um crescimento igual de obstáculos relacionados a seu uso.

Por volta dos anos 40 a soldagem passou a ser utilizada de maneira intensa, e assim tivemos os primeiros registros relacionados a falhas. Nessa época principalmente, podemos destacar as falhas em navios construídos para a segunda guerra mundial, os quais ocasionaram em falhas catastróficas levando a desativação dos mesmos.

Outros casos relatados referem-se a falhas em pontes metálicas, principalmente nas construídas com aço de alta resistência, em que os problemas de fragilização demonstraram ser bastante críticos. (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982)

Portanto, a ocorrência de tais problemas originou um novo campo de investigação, relacionando os aspectos físico e metalúrgicos envolvidos na atividade de análise da falha. Com aproximações empíricas e teorias, foram desenvolvidas atividades afins de estudar e compreender o comportamento das juntas soldadas. Como citam OKUMURA e TANIGUCHI (1982), análises sobre fenômenos como a iniciação da fissura foram decisivas para a soldabilidade, efeito das tensões residuais sobre a propagação de trincas, originaram normas para a pré-qualificação de processos e procedimentos; a presença de microfissuras na zona afetada pelo calor também provou ser de extrema importância na ocorrência de falhas em fraturas soldadas.

Com esses estudos, notou-se, portanto, a necessidade da existência de métodos de ensaio confiáveis afim de avaliar a condição do material que faz parte do conjunto soldado. Assim desenvolveu-se métodos, que hoje em dia obedecem a padrões e normas, que contribuíram de forma decisiva para a ampliação da utilização da soldagem, tornando essa uma atividade extremamente confiável no âmbito industrial.

2.4 Processos de soldagem

Com o avanço da tecnologia a constante pesquisa e utilização de conjuntos soldados na indústria, novos processos e aplicações foram surgindo, impulsionados por obstáculos ou desenvolvimentos de novos materiais, ou até mesmo evolução de processos originais.

Tabela 1 - Classificação dos processos de soldagem segundo a AWS

ARCO ELÉTRICO	BRASAGEM	ESTADO SÓLIDO
<ul style="list-style-type: none"> - Com eletrodo nu - Com eletrodo de carvão - Com eletrodo revestido - Com arame sólido e gás de proteção (MIG/MAG) - Com arame tubular com ou sem gás de proteção - Com arame sólido e fluxo (Arco submerso) - Com eletrodo de tungstênio não consumível - A plasma - De pinos - Com hidrogênio atômico 	<ul style="list-style-type: none"> - A ar - Por difusão - Em forno - Por indução - Por infravermelho - Por resistência - Por tocha - Arco com eletrodo de carvão - Em forno - Por indução - Por resistência - Por tocha - Com ferro de solda - Por infravermelho 	<ul style="list-style-type: none"> - Por difusão - Por forjamento - Por fricção - Por pressão a quente - Por laminação - Por ultrassom - Por explosão
RESISTÊNCIA	OUTROS	GÁS COMBUSTÍVEL
<ul style="list-style-type: none"> - Por centelhamento - Por falta de frequência - Por projeção - Por pontos - Topo a topo 	<ul style="list-style-type: none"> - Por feixe de elétrons - Por eletroescória - Por indução - A laser - Aluminotérmica 	<ul style="list-style-type: none"> - Oxiacetilência - Oxihídrica - Ar-Acetilênica - A gás

Fonte: NERIS (2012)

Segundo Neris (2012), estima-se que hoje em dia estão sendo utilizados mais de 70 processos de soldagem mundialmente, sendo este é um número dinâmico, pois vários outros processos estão em desenvolvimento ou em nível de pesquisa e projeto, os quais irão gerar mudanças no mercado de soldagem. Como visto na tabela 1, segundo a classificação adotado pela AWS – *American Welding Society*.

2.4.1 Soldagem por oxigás

A soldagem por oxigás é um processo por fusão, no qual a união dos materiais ocorre através da aplicação do calor gerado por uma chama, resultado da combustão de um gás, com ou sem metais de adição. As superfícies e os chanfros dos metais de base e o material de adição (quando presente), formaram uma poça de fusão única, que após o resfriamento constituirá um material único.

Existe uma grande quantidade de gases disponíveis para a soldagem, sendo o acetileno o mais usado, por seu custo baixo, e temperatura de chama. O metal de adição normalmente é específico para cada caso de soldagem.

A soldagem pelo processo oxigás oferece várias vantagens: o equipamento é barato e versátil, é ótima para chapas finas, é realizada com pequenos ciclos térmicos, não usa energia elétrica e solda em todas as posições. Em compensação o processo apresenta inúmeras desvantagens tais como: chamas pouco concentradas, o que acarreta grandes zonas termicamente afetadas pelo calor, é necessária grande habilidade do soldador, não é econômica para chapas espessas, tem baixa taxa de deposição, manuseia gases perigosos e o uso de fluxo acaba gerando. (NERIS, 2012)

2.4.2 Soldagem com eletrodo revestido

Processo caracterizado pela fusão do eletrodo consumível por calor, o qual é gerado através de um arco elétrico formado entre o eletrodo e a peça. A proteção da poça de fusão é dada através da decomposição do revestimento do eletrodo, a qual libera um gás responsável por tal atividade. O metal base é fundido formando a poça de fusão, juntamente com o eletrodo que é transferido através de glóbulos entre um intervalo de 0,001 a 0,01 segundos em alta temperatura.

Um dos fatores importantes ao utilizar o processo de soldagem por eletrodo revestido é o comprimento do arco responsável pela fusão dos materiais. Ao medir-se a extremidade do eletrodo até o fundo da cratera, deve-se preservar um comprimento menor possível.

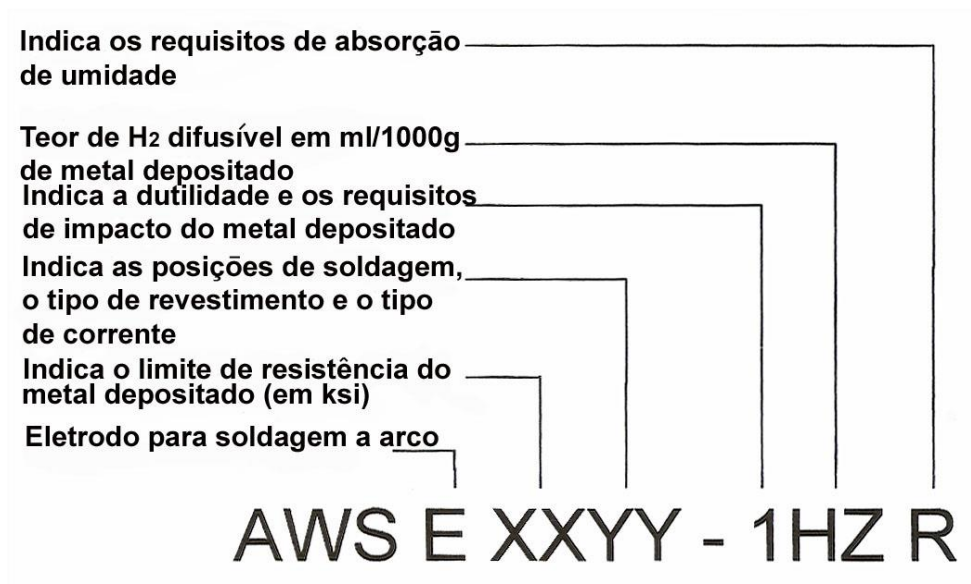
O comprimento do arco deve ser o menor possível (variando na faixa entre 3 e 4 mm ou ainda de 0,5 a 1,1 o diâmetro da alma do eletrodo) a fim de reduzir a chance dos glóbulos do metal em fusão entrarem em contato com o ar ambiente, absorvendo Oxigênio e Nitrogênio, os quais tem efeito bastante adverso nas propriedades mecânicas do metal depositado. (NERIS, 2012)

Com custo relativamente baixo e simplicidade no equipamento aliado a possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou abertos, constituem características importantes desse processo.

2.4.2.1 Classificação dos eletrodos revestidos conforme AWS

A classificação dos eletrodos é dada com base nas propriedades mecânicas e na composição química do metal a ser depositado, em seu revestimento e posição a qual será efetuada a soldagem, além do tipo de corrente. A classificação a *American Welding Society* utiliza uma sigla de números e letras, as quais fornecem as informações necessária a respeito do eletrodo, conforme a demonstração abaixo.

Figura 4 - Classificação de nomenclatura dos eletrodos revestidos



Fonte: NERIS (2011)

Para eletrodos de aço carbono e baixa liga, a classificação utiliza 4 a 5 algarismos, precedidos da letra E, que corresponde ao 'eletrodo'. Os primeiros dois ou três algarismos referem-se a tração mínima exigida em mil libras por polegada quadrada. O terceiro ou quarto

algarismo se refere a posição de soldagem, enquanto o próximo, sendo o último para eletrodos de aço carbono indica o tipo de revestimento, corrente e polaridade.

Para aços de baixa liga, a classificação AWS coloca após o último algarismo um hífen, seguido de um conjunto de letras e números, que indicam classe de composição química dos diversos tipos de liga.

Tabela 2 - Composição química dos eletrodos revestidos de baixa liga

Sigla	Composição química
EXXX10	Celulósico (Sódio) CC+
EXXX20	Ácido CC-
EXXXX1	Celulósico (Potássio) CC+,CA
EXXXX2	Rutílico (Sódio) CC-,CA
EXXXX3	Rutílico (Potássio) CC+,CC-,CA
EXXXX4	Rutílico (Pó de Ferro) CC+,CC-,CA
EXXXX5	Básico (Sódio) CC+
EXXXX6	Básico (Sódio) CC+
EXXXX7	Ácido (Pó de Ferro) CC-,CA
EXXXX8	Básico (Pó de Ferro) CC+,CA

Fonte: NERIS (2011)

Quanto a posição de soldagem, a norma aponta que, o penúltimo algarismo da nomenclatura é responsável pela identificação das posições as quais o eletrodo é indicado na operação:

Tabela 3 - Posição de soldagem dos eletrodos revestidos

Sigla	Posição de soldagem
1	Todas
2	Plana e horizontal
3	Plana

Fonte: NERIS (2011)

Desta forma, a composição química também é expressa na nomenclatura do eletrodo.

Tabela 4 - Composição química dos eletrodos para aços liga

Sigla	Composição química
A1	Eletrodo de aço carbono-molibidênio (0.40-0.65% Mo)
B1	Eletrodo de aço cromo-molibidênio (0.40-0.65% Cr e Mo)
B2	Eletrodo de aço cromo-molibidênio (1.00-1.50% Cr e 0.4-0.65 Mo)
B2L	Idem ao acima, com baixo teor de Carbono (0.005%)
B3	Eletrodo de aço cromo-molibidênio (2.5% Cr e 1% Mo)
B4L	Eletrodo de aço cromo-molibidênio (2.25% Cr e 0.65 Mo, baixo Carbono)
B5	Eletrodo de aço cromo-molibidênio (0.6% Cr e 1.25% Mo, traços V)
C1	Eletrodo de aço Níquel (2.00-2.75% Ni)
C2	Eletrodo de aço Níquel (3.00-3.75% Ni)
C3	Eletrodo de aço Níquel (1.10% Ni, Cr<0.15%, Mo<0.35%, V<0.05%)
D1	Eletrodo de aço manganês-molibidênio (1.75% Mn e 0.45% Mo)
D2	Eletrodo de aço manganês-molibidênio (2.00% Mn e 0.45% Mo)
G	Outros tipos de eletrodos de aço baixa liga
M	Especificações militares americanas
P	Eletrodos para soldagem de tubulações
W	Eletrodos resistentes à corrosão atmosférica

Fonte: NERIS (2011)

Assim podemos destacar também, outras normas AWS importantes na tabela abaixo.

Tabela 5 - Normas AWS

Norma	Descrição
AWS A 5.1	Eletrodos revestidos para soldagem de aço carbono
AWS A 5.4	Eletrodos revestidos para soldagem de aço inoxidável
AWS A 5.5	Eletrodos revestidos para soldagem de aço carbono e baixa liga
AWS A 5.6	Eletrodos revestidos para soldagem de cobre e suas ligas
AWS A 5.11	Eletrodos revestidos para soldagem de Níquel e suas ligas
AWS A 5.13	Eletrodos e varetas para revestimento por soldagem

Fonte: NERIS (2011)

2.4.3 Solda MIG/MAG

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW – Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde

continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo. (ESAB BR, 2005).

Segundo NERIS, 2011, nos dois procedimentos o metal de adição possui a mesma composição química do metal de base, levando como base o processo TIG, apenas com a adição do oxigênio ao gás inerte, o que levou a uma maior facilidade de abertura de arco ao iniciar uma soldagem. Após os avanços com o processo MIG, desenvolveu-se então o procedimento MAG, que gerou um barateamento nos custos, trazendo seu preço competitivo o bastante para alcançar valores similares ao do eletrodo revestido.

O processo MAG é utilizado apenas na soldagem de materiais ferrosos, tendo como gás de proteção o CO₂ ou misturas ricas nesse gás. (NERIS, 2011)

Com a dificuldade de se trabalhar com espessuras mais finas, desenvolveu-se o processo de MICRO-ARAME, e para o controle de respingos e formato do cordão surgiu o sub-processo de arame tubular com diâmetro de até 4 mm.

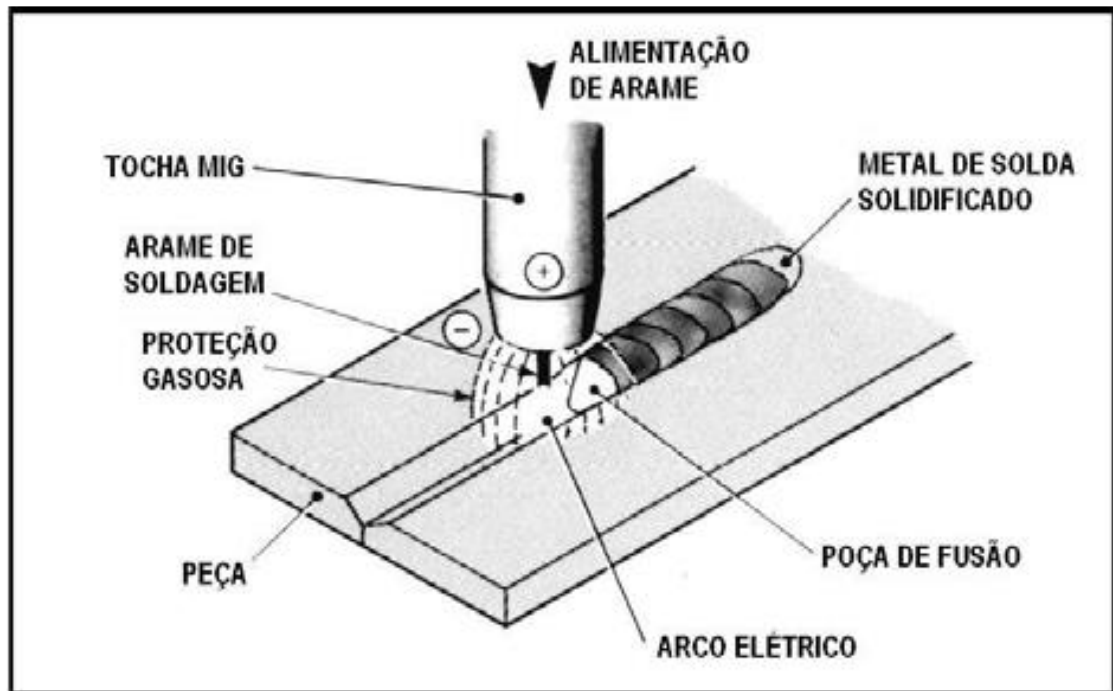
Todas estas melhorias permitiram um aumento na velocidade de soldagem do processo MIG/MAG em relação a outros processos, e isso vem refletindo-se na evolução da utilização do mesmo, comparativamente aos processos mais antigos. (NERIS, 2011)

As principais vantagens da solda MIG/MAG são sua alta taxa de deposição, grande variedade das espessuras aplicáveis, ausência de escória, facilidade de operação. Ou seja, o operador não precisa de grande especialização quando comparado aos eletrodos revestidos.

Como visto em ESAB, 2005, abaixo temos algumas das principais vantagens da solda MIG/MAG:

- A soldagem pode ser executada em todas as posições;
- Não há necessidade de remoção de escória;
- Alta taxa de deposição do metal de solda;
- Tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado ao eletrodo revestido;
- Altas velocidades de soldagem; menos distorção das peças;
- Largas aberturas preenchidas ou amanteigadas facilmente, tornando certos tipos de soldagem de reparo mais eficientes;
- Não há perdas de pontas como no eletrodo revestido.

Figura 5 - Processo básico de soldagem MIG/MAG



Fonte: ESAB, 2005

Por outro lado, a limitação desse processo encontra grande barreira na maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos, que por sua vez influenciam na qualidade do cordão de deposição. Ainda podemos destacar também o alto custo do equipamento, maior necessidade de manutenção e menor variedade de consumíveis.

2.4.3.1 Consumíveis do processo – Gases

Como vimos anteriormente, os gases utilizados nesse processo podem ser inertes, que não reagem com o metal líquido, ou reativos.

Os gases de proteção inertes são os considerados que não reagem com o metal líquido da poça de fusão. Os gases inertes mais utilizados na soldagem são Argônio e Hélio. Os gases de proteção reativos são os considerados que reagem com o metal líquido da poça de fusão, podendo alterar as propriedades metalúrgicas e mecânicas do metal de solda. Estes gases podem ser ativos ou redutores. (NERIS, 2011)

Segundo a norma AWS A 5.32, que rege a utilização de gases de proteção em processo de solda MIG/MAG, TIG, ARAME TUBULAR e PLASMA, especifica que esses gases podem ser de um único tipo, puro, ou formados por uma mistura.

Tabela 6 - Identificação dos Gases, segundo AWS A 5.32

Sigla	Gás
A	Argônio
C – CO ₂	Dióxido de Carbono
He	Hélio
H	Hidrogênio
N	Nitrogênio
O	Oxigênio

Fonte: NERIS (2011)

2.4.3.2 Consumíveis do processo – metais de adição

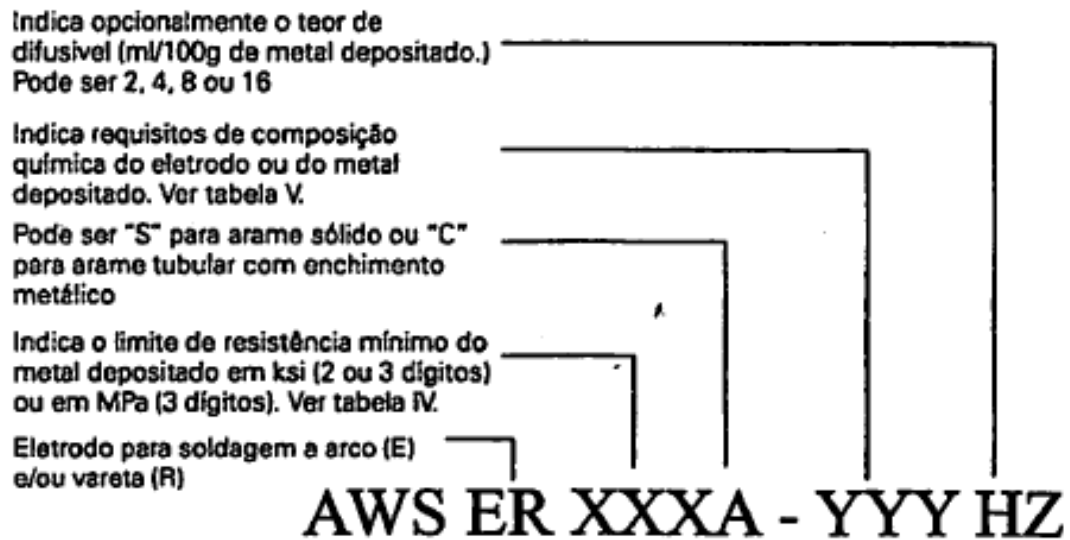
Os eletrodos consumíveis consistem em um arame contínuo com diâmetro variável de 0,6 a 2,4 mm, sendo os tubulares até 4mm, normalmente em rolos de 12 a 15 kg, chegando até a 200 kg, os quais são normalmente revestidos com uma fina camada de cobre para melhor contator elétrico e prevenir corrosão no armazenamento.

Segundo MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011, os arames para soldagem de aços, em geral, podem ter seção inteiramente metálica, chamados arames sólidos, ou ser do tipo tubular, formado por uma camada metálica fechada, e ter um enchimento interno.

Há arames de adição sólidos ou tubulares sendo que estes últimos são recheados de fluxos que possuem as mesmas características e funções dos revestimentos dos eletrodos revestidos. (...) Neste caso o fluxo contido dentro do arame gera o gás de proteção da poça de fusão, a formação de escória, a desoxidação da poça e a estabilização do arco. (NERIS, 2011)

Ainda segundo MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011, este pode ser um fluxo convencional, similar ao usado na soldagem com eletrodos revestidos, e, neste caso é chamado arame tubular ou então ser uma mistura de pós metálicos, sem um nome específico em português, quase sempre sendo referido como arame tubular com pó metálico. Em inglês utilizam-se "flux cored" e "metal cored", respectivamente, para os dois tipos de arame, principalmente na Europa. Nos Estados Unidos os arames tubulares com pó metálico interno são designados por "composite". Os arames tubulares preenchidos com fluxo podem ainda ser do tipo autoprotetidos, quando o fluxo interno é capaz de gerar toda a proteção gasosa necessária ao processo, ou com proteção gasosa suplementar.

Figura 6 - Classificação dos arames para soldagem, segundo especificação AWS



Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE (2011)

Tabela 7 - Especificação AWS para materiais de adição para soldagem MIG/MAG

Especificação	Consumível
AWS A 5.7	Arames de cobre e suas ligas
AWS A 5.9	Arames de aço inoxidável
AWS A 5.10	Arames de alumínio e suas ligas
AWS A 5.14	Arames de níquel e suas ligas
AWS A 5.15	Arames para soldagem de ferro fundido
AWS A 5.16	Arames de titânio e suas ligas
AWS A 5.18	Arames tubulares de aço carbono com pó metálico interno
AWS A 5.19	Arame de magnésio e suas ligas
AWS A 5.20	Arames tubulares de aço carbono com fluxo interno
AWS A 5.21	Arames para revestimento
AWS A 5.22	Arames tubulares para soldagem de aço inoxidável
AWS A 5.24	Arames para soldagem de zircônio
AWS A 5.28	Arame de aços de baixa liga

Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE (2011)

3 DEFEITOS DE SOLDA

Usando das técnicas e materiais corretos de soldagem, o processo MIG/MAG resulta em um depósito de material de alta qualidade, como já visto anteriormente neste trabalho, porém assim como qualquer processo industrial, está sujeito a falhas, que normalmente estão

ligadas a práticas inadequadas, que assim identificadas podem ser facilmente contornadas pelo operador responsável pela atividade.

Defeitos estes que compreendem normalmente a falta de penetração, falta de fusão, mordedura, porosidade e trincas longitudinais

3.1 Falta de penetração

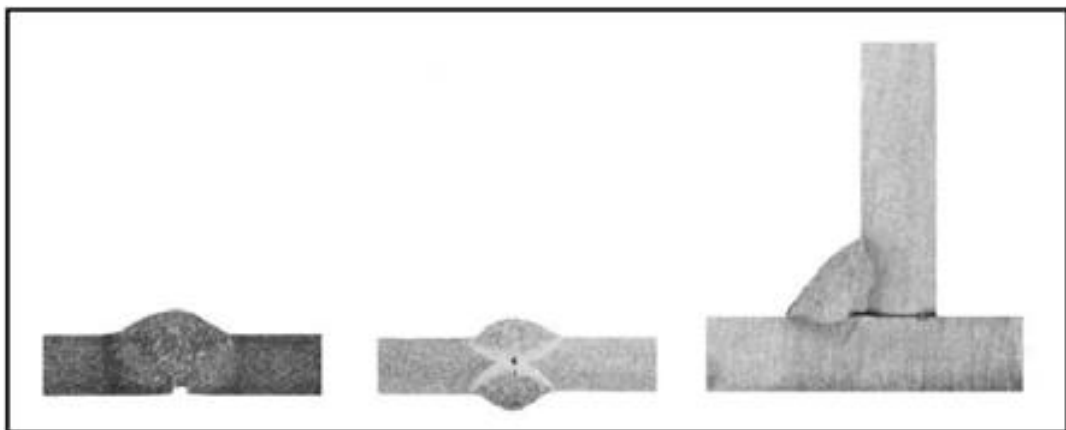
A corrente de soldagem é o parâmetro mais crítico quando observamos a amplitude de penetração da solda. Sendo a penetração incompleta causada pela aplicação de uma corrente de soldagem muito baixa, podendo ser evitada apenas com o aumento da corrente de soldagem.

Além da baixa corrente, velocidade baixa e ângulo incorreto da tocha podem prejudicar a penetração e fusão do material de adição com o material de base. Ambos os casos resultaram com que a poça de fusão passe à frente do arco, resultando em um amortecimento à penetração, logo o arco deve ser mantido na margem anterior da poça de fusão. Na figura abaixo podemos observar exemplos:

Segundo ESAB, 2018, a falta de penetração se caracteriza por:

- Quando o cordão de solda não penetrar completamente na espessura do metal de base;
- Quando dois cordões de solda opostos não se interpenetrem;
- Quando o cordão de solda não penetrar na garganta de uma junta em ângulo.

Figura 7 - Exemplos de falta de penetração



Fonte: ESAB, 2018

3.2 Falta de fusão

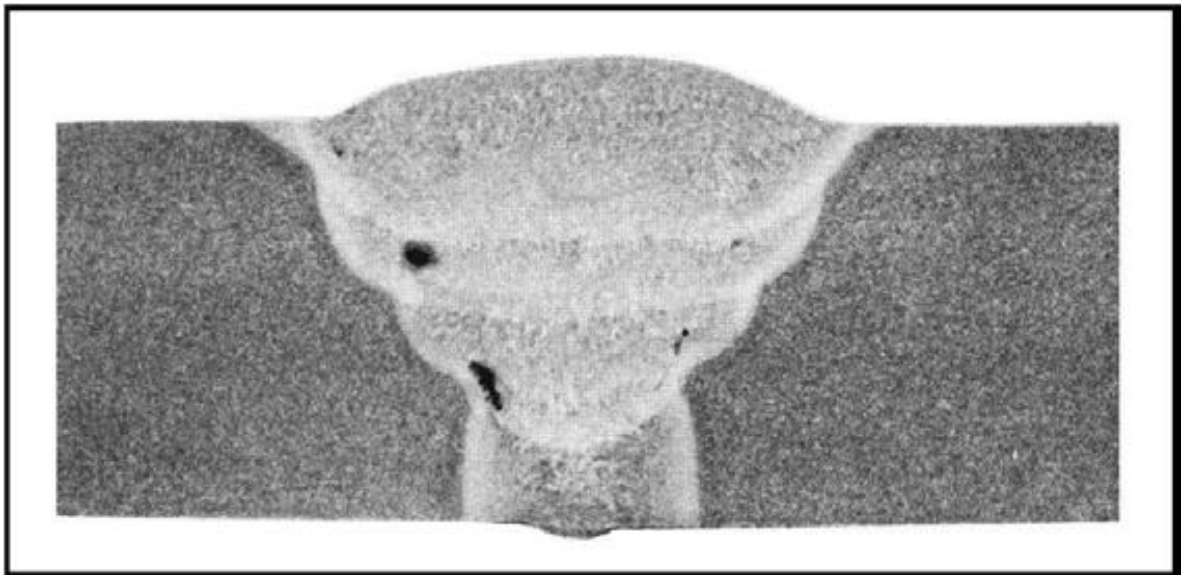
O efeito que compreende a falta de fusão ocorre onde não existe fusão entre o metal de adição e as superfícies do metal de base, sendo a técnica de soldagem sua causa mais comum.

Assim como visto na falta de penetração, este defeito também possui relação entre a poça de fusão e baixa velocidade de soldagem, decorrentes de uma poção de fusão muito larga, e/ou o metal de adição à frente do arco. Portanto, o arco deve ser mantido na margem anterior da poça de fusão, certificando então que ela não ficará muito larga e não poderá amortecer o arco. Outra causa é o uso de uma junta de solda muito larga, fazendo com que o metal de solda apenas flua contra as paredes do chanfro, sem fundi-las. O calor do arco deve ser utilizado para fundir o metal de base, que pode ser otimizado com o uso de uma junta mais estreita, ou dirigindo também para as paredes do chanfro.

Na soldagem multipasses de juntas espessas deve ser adotada uma técnica de oscilação sempre que possível após o passe de raiz. No entanto, cordões de solda muito largos ligando os dois lados do chanfro devem ser evitados. (ESAB, 2018)

A gota fria também compreende uma falha de fusão, que novamente está relacionada a baixa velocidade, decorrente de uma solda de um passe apenas. Além da baixa velocidade, a gota fria pode se formar com a utilização de tensão de soldagem baixa no processo.

Figura 7 - Exemplo de falta de fusão



Fonte: ESAB, 2018

Na soldagem do alumínio, a causa mais comum desse tipo de defeito é a presença do óxido de alumínio, que é refratário e tem um ponto de fusão de aproximadamente 1.927°C , além de ser insolúvel no próprio alumínio. Se esse óxido estiver presente nas superfícies a serem soldadas, a fusão com o metal de solda será prejudicada, portanto a melhor proteção contra a formação de óxidos é removê-los imediatamente antes da soldagem. Embora nos aços seja

possível soldar sobre o óxido de ferro (ferrugem, carepa), uma quantidade excessiva desses óxidos pode causar falta de fusão.

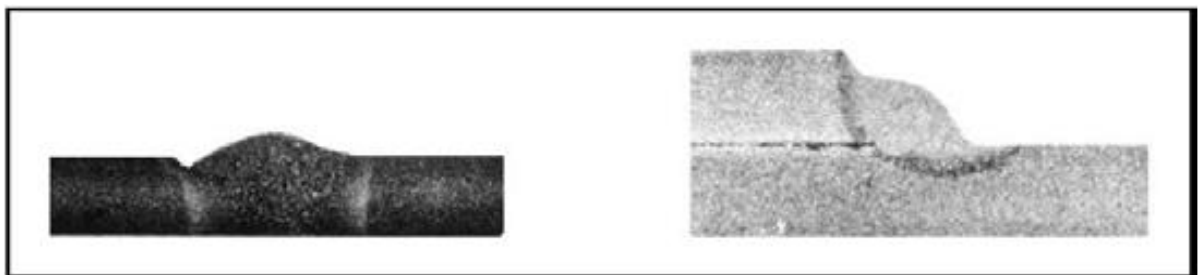
3.3 Mordedura

Defeito de solda que se mostra na espécie de um entalhe no metal de base, ao longo das bordas do cordão de solda. Muito comum em juntas em ângulos sobrepostos, porém encontrada em juntas de topo e ângulo. Decorrente novamente de parâmetros incorretos de soldagem para a execução da tarefa, particularmente a velocidade de soldagem e a tensão do arco.

Quando a velocidade de soldagem é alta demais, o cordão fica com uma crista por conta da solidificação rápida, fazendo com que as forças de tensão superficial arrastem o metal fundido ao longo das margens do cordão de solda.

Quando estão presentes mordeduras pequenas ou intermitentes, aumentar a tensão do arco ou soldar empurrando podem ser ações corretivas eficazes. Em ambos os casos o cordão de solda ficará mais plano e a molhabilidade será melhor. Entretanto, quando a tensão do arco é aumentada até níveis excessivos, a mordedura poderá aparecer novamente. (ESAB, 2018)

Figura 8 - Exemplos de mordedura



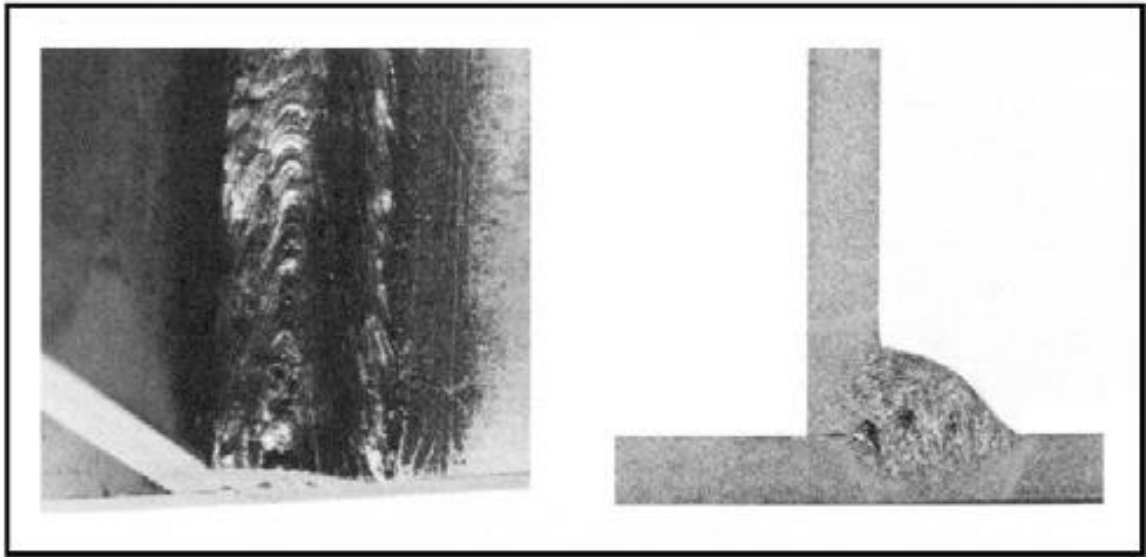
Fonte: ESAB, 2018

Portanto, o comprimento do arco deve ser mantido curto, aumento a penetração e garantindo a integridade da solda, bem como evitando mordeduras. Correntes de soldagem elevadas podem resultar neste defeito também, por conta da força e do calor do arco, gerando um aumento da penetração que resulta na expulsão do material para fora, efeito este o qual permite que suas extremidades se fundam e solidifiquem-se rápido demais. É sempre recomendável permanecer dentro das faixas de corrente especificadas para cada diâmetro de arame.

3.4 Porosidade

Consiste em bolsas de gás que podem se encontrar na superfície ou no interior do cordão de solda solidificado. Estes poros variam de diâmetro e estão geralmente distribuídos de forma aleatória, mais comuns no centro da área soldada.

Figura 9 - Exemplos de porosidade



FONTE: ESAB, 2018

As causas mais comuns para este defeito são contaminação atmosférica, excesso de oxidação, elementos de liga inadequados no arame e presença de sujeira. Segundo ESAB, 2018, a contaminação atmosférica por ser causada por:

- Vazão de gás de proteção insuficiente;
- Vazão de gás de proteção excessiva, que pode causar aspiração de ar para dentro do fluxo do gás de proteção;
- Bocais obstruídos ou sistema de fornecimento de gás danificado (mangueiras e conexões com vazamentos, etc.);
- Correntes de ar excessivas na área da soldagem, que podem arrastar o gás de proteção da região da poça de fusão.

Os gases atmosféricos que são primariamente responsáveis pela porosidade no aço são o nitrogênio e o oxigênio em excesso. No entanto, uma quantidade considerável de oxigênio pode ser tolerada sem gerar porosidade na ausência do nitrogênio. (ESAB, 2018)

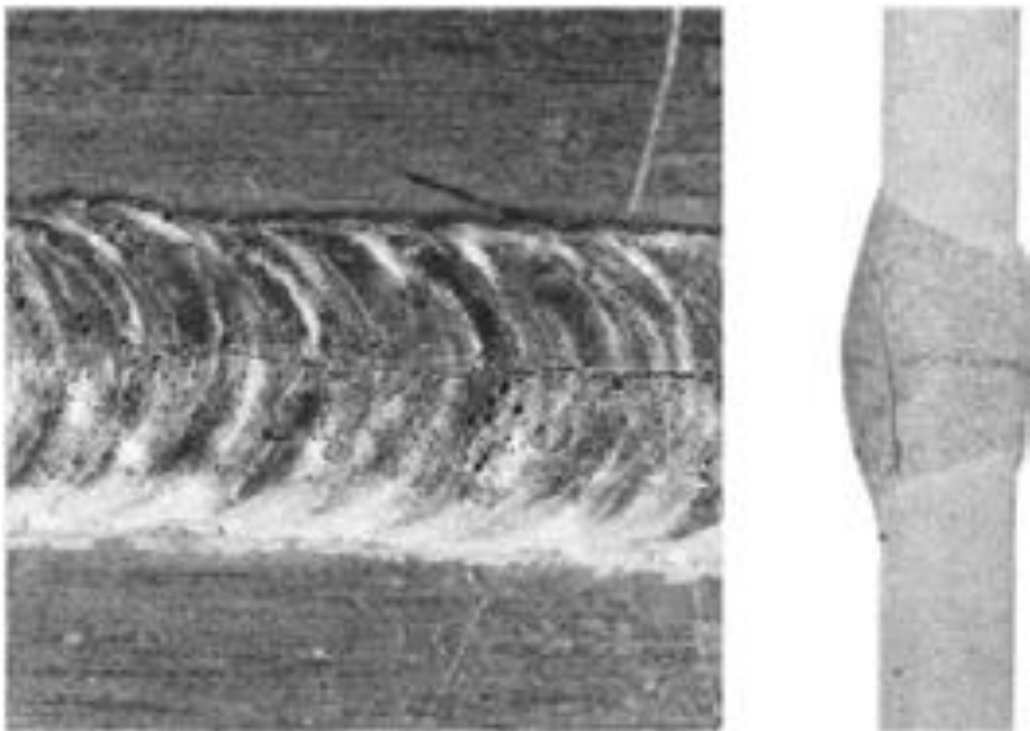
3.5 Trincas longitudinais

Normalmente este tipo de falha não é frequentemente encontrada na solda do tipo MIG/MAG, porém estas trincas podem ser de dois tipos, quentes ou frias.

Classificam-se como fraturas a frio aquelas que ocorrem a temperaturas inferiores a 300°C. Essas fraturas ocorrem não somente na zona termicamente afetada, mas também no metal depositado. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011)

Normalmente são originadas do uso de um arame de solda incorreto, porém a composição química do metal de base também pode levar a esse efeito. Qualquer condição de projeto que envolva junta, condições e técnicas de solda que resultem na deposição de um cordão com superfície excessivamente côncava poderá conduzir a uma fissura.

Figura 10 - Exemplo de trinca longitudinal



Fonte: ESAB, 2018

Como um guia de referência rápida, a tabela 8 lista todos os defeitos possíveis, suas causas e ações corretivas, aos defeitos nas áreas de solda.

Tabela 8 - Defeito x Causa na Soldagem

DEFEITO	CAUSA E/OU AÇÃO CORRETIVA
Porosidade	<ul style="list-style-type: none"> • Óleo, oxidação grosseira, carepa, etc. • Arame - pode ser necessário um arame com teores mais altos de Mn e Si. • Problema de proteção: vento, bocal obstruído ou pequeno, mangueira de gás danificada, vazão de gás excessiva, etc. • Falha na remoção da escória vítrea entre os passes de solda. • Soldagem sobre a escória de eletrodo revestido.
Falta de penetração	<ul style="list-style-type: none"> • Junta de solda muito estreita. • Corrente de soldagem muito baixa; extensão do eletrodo muito grande. • Poça de fusão passando à frente do arco.
Falta de fusão	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão e/ou corrente de soldagem muito baixa. • Polaridade errada; deveria ser CC+. • Velocidade de soldagem muito baixa. • Soldagem sobre um cordão convexo. • Oscilação da tocha muito larga ou muito estreita. • Oxidação excessiva na chapa.
Mordedura	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de soldagem muito alta. • Tensão de soldagem muito alta. • Corrente de soldagem excessiva. • Parada insuficiente às margens do cordão de solda.
Trincas	<ul style="list-style-type: none"> • Composição química incorreta do arame de solda. • Cordão de solda muito pequeno. • Má qualidade do material de base sendo soldado.
Arco instável	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique o gás de proteção. • Verifique o sistema de alimentação de arame.
Início do cordão deficiente ou quebra do arame	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão de soldagem muito baixa. • Indutância muito alta. • Extensão do eletrodo muito grande. • Limpe a escória vítrea ou a oxidação do metal de base.
Respingos excessivos	<ul style="list-style-type: none"> • Use misturas Ar-CO₂ ou Ar-O₂ no lugar de CO₂. • Diminua o percentual de He. • Tensão do arco muito baixa. • Aumente a indutância.
Furo da raiz	<ul style="list-style-type: none"> • Corrente de soldagem muito alta. • Velocidade de soldagem muito baixa. • Diminua a abertura da raiz • Use misturas Ar-CO₂ no lugar de CO₂.
Convexidade do cordão de solda	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão do arco ou corrente de soldagem muito baixa. • Extensão do eletrodo excessiva. • Aumente a indutância. • Polaridade errada; deveria ser CC+. • Junta de solda muito estreita.

Fonte: ESAB, 2018

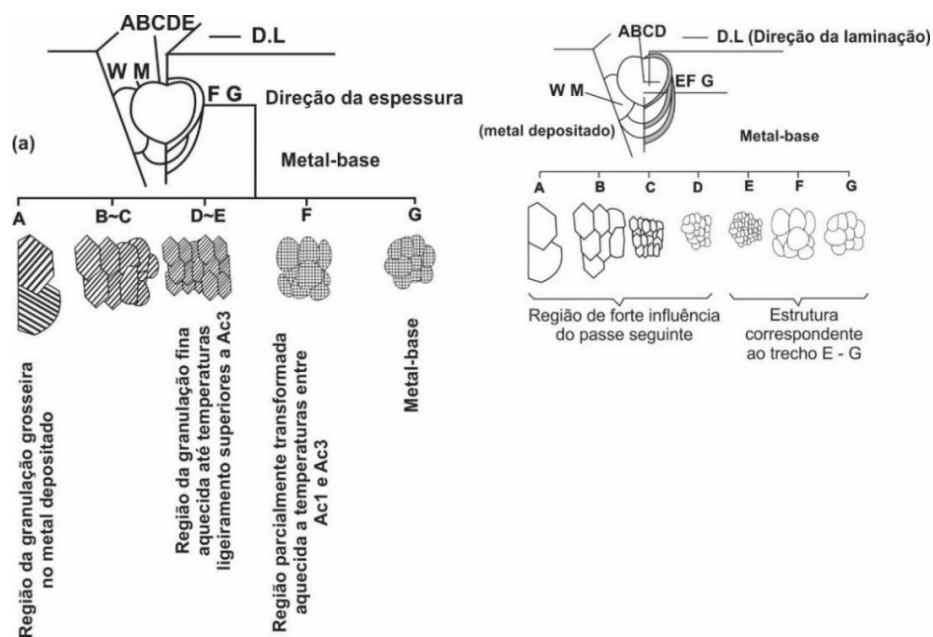
4. A PROPAGAÇÃO DE TRINCA NA SOLDA

Em juntas soldadas a microestrutura se torna frágil, influenciada por fatores que provocam a chamada fratura frágil, como pontos de tensão, defeitos de solda velocidade de deformação, entalhes, espessura da chapa, até descontinuidades estruturais. Assim ao se investigar a resistência de uma junta soldada, deve se estudar a influência dos mesmos. Devido ao alto custo da análise de corpos de provas com grandes dimensões, o procedimento na indústria resume-se a ensaios padronizados em pequenas dimensões.

A sensibilidade à fratura frágil é um problema muito importante nos aços. Se uma fratura frágil ocorre nos aços com resistência insuficiente, ela pode se propagar a velocidade muito alta, da ordem de 2000 m/s, atingindo a estrutura toda quase instantaneamente. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011)

A microestrutura da zona termicamente afetada pode apresentar variações desde o metal-base até o metal de adição, conforme imagem 11. Na região próxima à linha de fusão, a zona termicamente afetada tem uma variação acentuada, dependendo dos ciclos térmicos aplicados durante a soldagem.

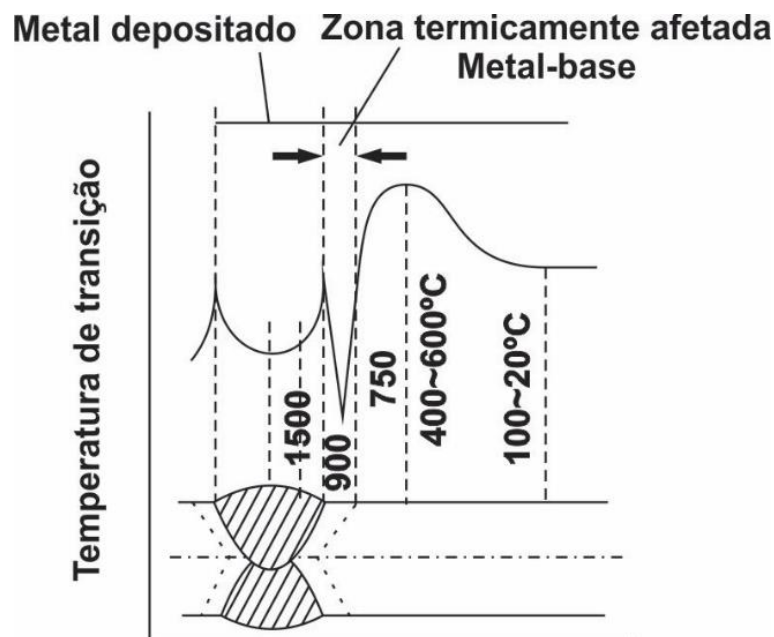
Figura 11 - Estrutura esquemática da zona termicamente afetada



Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011

Pela mesma razão, as características de resistência à propagação das trincas também sofrem mudanças, conforme figura 12. Particularmente nas vizinhanças da linha de fusão, os grãos cristalinos tornam-se grosseiros e, geralmente, isto é acompanhado por acentuada fragilização. A este fato dá-se o nome de fragilização do contorno da solda. Além disso, esta zona pode apresentar regiões de concentração de tensões devidas à descontinuidade no pé do cordão de solda, a mordeduras, a trincas e etc. Caso a vizinhança da linha de fusão seja frágil, qualquer um dos defeitos citados ou outros pontos de concentração de tensões podem dar origem a uma fratura frágil na estrutura soldada. Por esta razão, a redução da fragilização é muito importante para garantir as propriedades da junta soldada. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE,2011).

Figura 12 - Mudança na temperatura de transição na soldagem



Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011

As propriedades do metal depositado pelo consumível da solda, também dependem da formação de sua estrutura, para garantir que suas propriedades atendam o solicitado pelo projeto.

O metal depositado difere da zona termicamente afetada, pois ela se funde e se solidifica durante a soldagem e pode incluir grandes quantidade de impurezas, como oxigênio. A composição química do metal depositado depende basicamente do processo de soldagem, mas pode-se dizer que ela se constitui de uma mistura dos componentes do metal-base e do material de consumo. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011).

5 INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA NA SOLDAGEM

Como já visto anteriormente, a fragilização do contorno da solda é causada pela formação de grão grosseiros, a qual pertence a estrutura bainítica em forma de penas. Assim então, se torna importante conhecer as relações entre as propriedades da zona termicamente afetada, composição química do metal-base e a velocidade de resfriamento.

Nos aços de classe 80kgf/mm², o grau de fragilização devido a variação no insumo de calor é mais pronunciado, comparado aos da classe de 60kgf/mm². No caso dos aços de 80kgf/mm², a presença e as porcentagens de liga fazem com que, aumentando-se a velocidade de resfriamento, devido a diminuição do insumo de calor, o aço seja temperado, com as vizinhanças da linha de fusão apresentando estrutura martensítica ou bainítica acicular, exibindo, portanto, boas características contra a propagação de fraturas. Por outro lado, caso o resfriamento seja lento, há tendência de se formar a estrutura bainítica em forma de penas, com a conseqüente diminuição daquelas propriedades. As más qualidades da estrutura bainítica em forma de penas são ainda mais acentuadas pela presença de martensita em forma segregada nas vizinhanças da bainita.

Isto faz com que a resistência a propagação de fraturas se deteriore sensivelmente, sendo bem inferior à da estrutura ferrítica-perlítica. Logo, nos casos dos aços da classe 80kgf/mm², com elevada porcentagem de liga, há possibilidade de formação de bainita em forma de penas, e portanto, se a velocidade de resfriamento é baixa, o grau de fragilização será consideravelmente maior do que o dos aços com pequena porcentagem de elementos ligas. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011).

Assim, conforme visto nos comentários do autor, fica claro que a influência da composição química do metal-base na ductilidade do contorno da solda varia em grande quantidade, em função dos elementos e porcentagens presentes em sua composição, bem como em relação ao resfriamento durante o processo.

6 MÉTODOS PARA DIMINUIR A FRAGILIZAÇÃO EM TORNO DA LINHA DE FUSÃO

A redução da fragilidade ao redor da linha de fusão de um conjunto soldado, é obtida através da criação de microestruturas diferenciadas, assim então, temos alguns métodos eficientes que são capazes de nos garantir a qualidade do cordão de solda.

Assim temos o procedimento segundo MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011.

- (a) Utilização de aços pouco sensíveis à fragilização. O método mais utilizado consiste na diminuição dos elementos liga e do carbono nos aços e no aumento do conteúdo de níquel. Para preservar as propriedades mecânicas, é necessário então submeter as chapas de aço a um tratamento de têmpera e revenimento, chegando a níveis de resistência superiores a 60kgf/mm².
- (b) Controle do insumo de calor. Largamente utilizado para a diminuição da fragilização. Nos aços de classe 70 a 80kgf/mm², a soldagem é geralmente efetuada com insumo de calor da ordem de 40 a 80 kJ/cm, com a finalidade de se obter uma temperatura de transição do contorno da solda inferior a 0°C. A utilização de temperaturas de pré-aquecimento muito altas, com a finalidade de aumentar o tempo de resfriamento e tornar a microestrutura mais favorável, não é aconselhável para garantir as propriedades de resistência à propagação de fraturas nas vizinhanças da linha de fusão.
- (c) Controle da fragilização atuando no procedimento de soldagem. Normalmente emprega-se um método que tem como resultado melhorar a microestrutura através do reaquecimento do contorno durante a soldagem. Por exemplo, a solda de múltiplos passes não deixa de constituir uma aplicação desse método. Um passe do cordão de solda é aquecido pelo passe seguinte, possibilitando o refinamento dos grãos com o benefício da microestrutura.

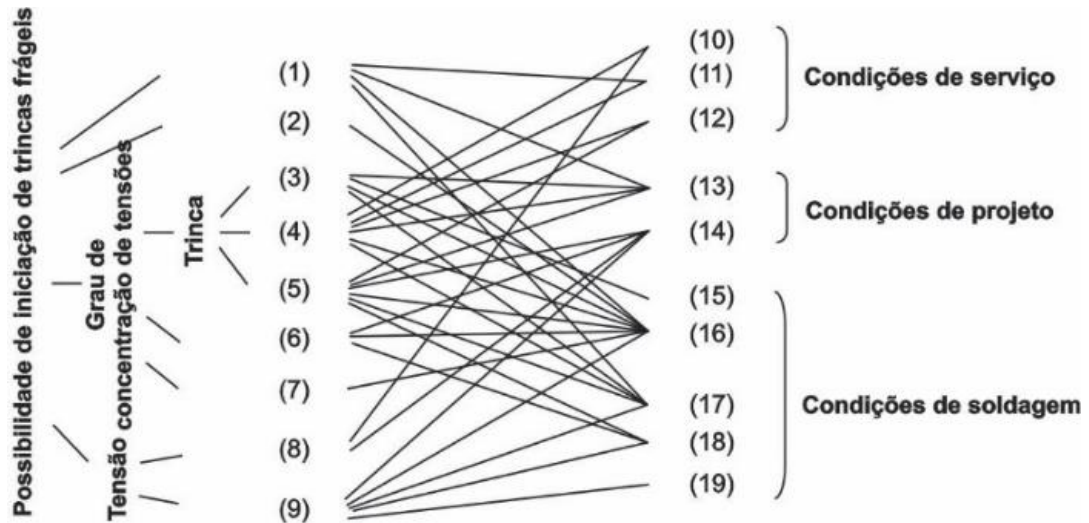
Como é possível observar, existem vários processos utilizados para garantir a qualidade da área soldada, sendo a redução da fragilização do cordão de solda apenas um destes meios.

O controle de qualidade deve se estender a todos os fatores que influenciam na nucleação da fratura frágil, como a concentração de tensões, distorções, graus de rigidez da junta, entre outros.

O diagrama abaixo, traz a representação de um fluxograma, com informações que nos possibilitam a rápida identificação de fatores capazes de contribuir para o surgimento de uma fratura frágil área de solda. Além das causas iniciais descritas na figura 13, estas informações

aliadas com a tabela 9 nos possibilitam uma maior investigação dos fatores causadores do defeito no conjunto soldado, bem como quais as melhores medidas para prevenção do mesmo.

Figura 13 - Fatores que influem na iniciação da fratura frágil



Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011

Tabela 9 - Fatores que influem na iniciação da fratura frágil

Item	Fatores
1	Resistência à propagação de trincas em presença de entalhe da zona de solda
2	Geometria da zona de solda
3	Trincas devidas à solda
4	Tensão sob corrosão
5	Fadiga
6	Distorção angular e desalinhamento estruturais
7	Formato do cordão
8	Tensão solicitante
9	Tensão residual e reativas
10	Tensões de serviço
11	Temperatura de serviço
12	Meio ambiente
13	Propriedades do material, espessura
14	Projeto
15	NDT
16	Soldagem (incluindo as de reparo)
17	Alívio de tensões
18	Limite de tolerância
19	Pressões de teste

Fonte: MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2011

7 MATERIAIS EMPREGADOS NO PROJETO

O aço é utilizado em construções mecânicas, pois é a liga metálica que possui o maior grau de versatilidade, sendo assim produzida em diversos tipos e formatos, de acordo com a necessidade dimensional do projeto, bem como para suas aplicações. Além do formato, que pode ser adequado as necessidades do cliente, ainda podemos controlar sua estrutura e composição química, afim de garantir certas propriedades específicas.

Existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. (Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2014)

Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2014, aços-carbono possuem em sua composição apenas quantidades limitadas dos elementos químicos carbono, silício, manganês, enxofre e fósforo. Outros elementos químicos existem apenas em quantidades residuais. A quantidade de carbono presente no aço define sua classificação. Os aços de baixo carbono possuem um máximo de 0,3% deste elemento e apresentam grande ductilidade. São bons para o trabalho mecânico e soldagem, não sendo temperáveis, utilizados na construção de edifícios, pontes, navios, automóveis, dentre outros usos.

Os aços de médio carbono possuem de 0,3% a 0,6% de carbono e são utilizados em engrenagens, bielas e outros componentes mecânicos. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência. Aços de alto carbono possuem mais do que 0,6% de carbono e apresentam elevada dureza e resistência após têmpera. São comumente utilizados em trilhos, molas, engrenagens, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, pequenas ferramentas etc.

Na construção das garras florestais, alvo deste estudo, utiliza-se aços padrão ASTM A36 para as peças usinadas e OPTIM 700 QL nas chapas que constituem a parte estrutural do projeto.

7.1 ASTM A36

Abaixo na tabela 10 temos algumas informações técnicas e químicas, quanto a composição, aplicação, propriedades mecânicas e medidas comerciais disponíveis sobre o ASTM A36, segundo disponibilizadas pelo fornecedor do material em seu web site.

Tabela 10 - Propriedades do ASTM A36

EQUIVALENTES:	NBR-6648 / ASTM A-283 Gr. C
COMP.QUÍMICA (DIRETRIZ)	C máx: 0,28% / Mn: 0,60% – 0,90% / P máx: 0,04% / S máx: 0,05% / Si máx: 0,04% / Cu: 0,20% mín. Quando especificado.
APLICAÇÕES	São aços para aplicação em componentes estruturais onde as propriedades físicas são bem definidas para permitirem sua utilização em projetos que exijam dobramento e boa soldabilidade. Quando fabricados em chapas de aço possuem resistência intermediária e são aplicadas em componentes estruturais variados, desde os mais comuns até os mais elaborados tais como: Pontes, locomotivas, estruturas de máquinas, galpões, edifícios etc.
PROPRIEDADES MECÂNICAS	LE (MPa): 250 min, LR (MPa): 400 – 550, Alongamento: 23%. O valor de referência para o alongamento pode variar em função da espessura e da base de medida das amostras.
FORMAS	Barras Redondas, Chatas, Quadradas, Blocos Recortados e Chapas.
ACABAMENTOS	Bruto, Descascado, Retificado, Torneado e Frezado.
BITOLAS	Redondos: 1/8" a 40" Quadrados: 3/16" a 30" Chatos/Blocos: 1/8" x 3/8" a 10" x 24"

FONTE: Tenax

7.2 OPTIM 700 QL

Segundo as informações da PCP Produtos Siderúrgicos, as chapas LN-700 e S700MC são ideais para a fabricação e construção de máquinas agrícolas, implementos rodoviários, equipamentos florestais, guindastes e componentes de movimentação de cargas, chassis e estruturas de transporte, entre outros equipamentos.

Esses materiais apresentam excelente acabamento superficial, garantia de planicidade e de processamento, podendo ser disponibilizados em bobinas ou chapas, conforme a solicitação do cliente.

Tabela 11 - Propriedades mecânicas do OPTIM 700

	Material	Norma de Fabricação	Limite de Escoamento	Limite de Ruptura	Alongamento
PROPRIEDADES MECÂNICAS	LN-700	NBR 6656 LN-700 ¹	700 MPa (mínimo)	750 MPa (mínimo)	12% (mínimo)
	S700MC	EN 10149-2 S700MC ²	700 MPa (mínimo)	750 MPa (mínimo)	10% (mínimo)

¹Teste no sentido longitudinal

²Teste no sentido transversal

Fonte: PCP Steel

Tabela 12 - Propriedades químicas do OPTIM 700

	Material	Carbono (%)	Manganês (%)	Silício (%)	Fósforo (%)	Enxofre (%)
COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA	LN-700	0,15 (máximo)	2,10 (máximo)	0,55 (máximo)	0,030 (máximo)	0,015 (máximo)
	S700MC	0,12 (máximo)	2,10 (máximo)	0,60 (máximo)	0,025 (máximo)	0,0015 (máximo)

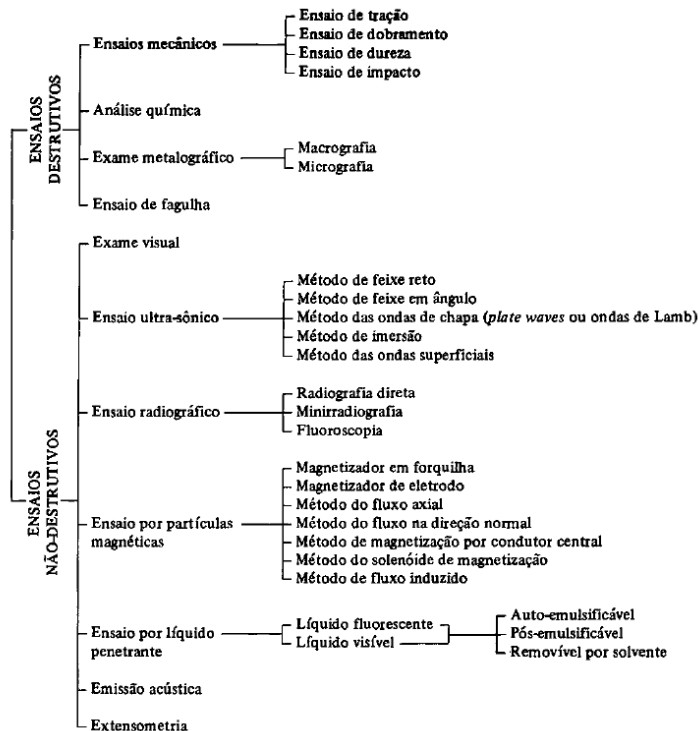
Fonte: PCP Steel

8 INSPEÇÃO NA SOLDAGEM

Para OKUMURA e col, 2012, os ensaios e inspeções na indústria podem se dividir entre os que concernem os fabricantes e os relativos a usuários. Embora os métodos de inspeção sejam os mesmos, eles são interpretados de modos distintos, dependendo de suas funções específicas. Outro aspecto importante, é a garantia na segurança, o que afeta não apenas os fabricantes, mas também terceiros, ou a sociedade como um todo.

Os ensaios podem ser classificados em ensaios destrutivos e não-destrutivos, conforme figura abaixo:

Figura 14 - Ensaios e Inspeção de Materiais Metálicos



Fonte: OKUMURA e col, 2012

8.1 Metalografia

A metalografia corresponde a parte da metalurgia que estuda a constituição, estrutura e textura dos metais, relacionando suas propriedades físicas, composição e processo de fabricação afim de investigar ou prever seu comportamento em uma determinada situação.

O controle de qualidade de um produto metalúrgico pode ser estrutural e dimensional. O segundo preocupa-se em controlar as dimensões físicas de um determinado produto, denominado Metrologia. O primeiro preocupa-se com o material que forma a peça, sua composição, propriedade, estrutura, aplicação. (ROHDE, 2018)

Portanto, a observação das estruturas que compõe as constituições dos metais é de extrema importância para as atividades da engenharia, uma vez que apenas a análise de sua composição química não fornece todas as informações necessárias para a qualificação de um material.

A metalografia pode ser executada sem auxílio de aparelho, o que constitui a macrografia, ou com microscópios, micrografia.

Segundo ROHDE, 2018, a macrografia examina o aspecto de uma superfície após devidamente polida e atacada por um reagente adequado. Por seu intermédio tem-se uma ideia do conjunto, referente à homogeneidade do material, a distribuição e natureza das falhas, impureza e ao processo de fabricação. Já no processo da micrografia consiste no estudo dos produtos metalúrgicos, com o auxílio do microscópio, onde se pode observar e identificar a granulação do material, a natureza, a forma, a quantidade, e a distribuição dos diversos constituintes ou de certas inclusões.

8.1.2 Líquido penetrante

Desenvolvida pela indústria ferroviária inicialmente no século XIX, para a inspeção de rodas e eixos, consiste em um método de ensaio não destrutivo, utilizado na detecção de descontinuidades em superfícies sólidas não porosas, tais como: trincas, dobras e poros.

Inicialmente usava-se uma solução de pó de giz com álcool, que mais tarde nos anos 40 com o avanço da Segunda Guerra Mundial, trouxeram os primeiros kits de líquido penetrante, os quais são utilizados até os dias de hoje.

Existem 5 etapas essenciais no emprego deste método de ensaio:

- 1 – Preparação da superfície;
- 2 – Aplicação do líquido penetrante;
- 3 – Remoção do excesso de penetrante;
- 4 – Aplicação do revelador;
- 5 – Inspeção. (FERRARESI, 2018, p.1)

8.1.3 Preparação do corpo de prova

A preparação da superfície que receberá a aplicação do líquido penetrante, deve ser limpa de qualquer outra substância para que não interfira ou venha a mascarar os resultados, tais como: água, óleo, graxa, tinta, carepa solta e ferrugem.

A remoção de tais impurezas deve ser feita com escovas de aço (manuais ou rotativas), solventes, desengraxantes. Segundo FERRARESI, 2018, nesta etapa é conveniente atentar-se aos seguintes detalhes:

A – O uso de escovas de aço carbono ou lixadeira, que tenha sido utilizada em aço carbono, em aço inoxidável austenítico provoca a contaminação deste último;

B – A limpeza por jateamento abrasivo pode obstruir as descontinuidades; se o jateamento for imperativo, recomenda-se um esmerilhamento antes da aplicação do penetrante.

A- Não é permitida a preparação da superfície com jato de areia, granalha ou outros meios que possam deformar as descontinuidades superficiais. Quando as superfícies a serem ensaiadas sofrerem jateamento no seu processo de fabricação, suas superfícies só podem ser objeto de inspeção por LP se as mesmas forem esmerilhadas ou usinadas.

B – Para aços inoxidáveis e ligas de níquel, as ferramentas de preparação da superfície destes materiais devem ser utilizadas apenas para os mesmos e atender os seguintes requisitos:

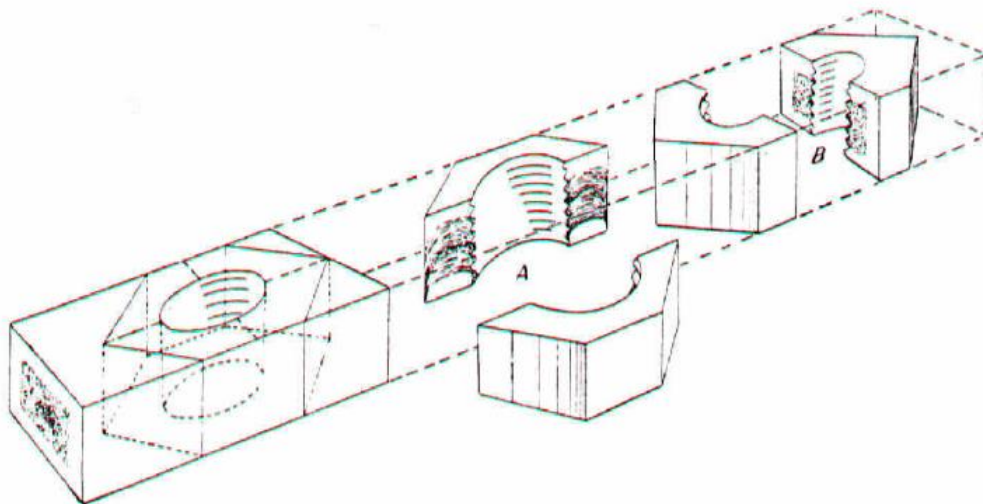
- Ser de aço inoxidável ou revestidas com este material;
- Os discos de corte e esmerilhamento devem ter alma de nylon ou similar. (Norma Petrobrás N-1596)

Portanto, se a preparação for mecânica, recomenda-se complementar a limpeza com algum solvente, para a remoção de óleos ou graxas, respeitando o tempo de secagem do mesmo.

Dependendo da situação a ser analisada, é necessário efetuar um corte na peça, afim de que a análise seja satisfatória. Portanto, recomendavelmente use-se discos de corte para tal operação.

O corte abrasivo oferece a melhor solução para este seccionamento, pois elimina por completo o trabalho mecânico a frio, resultando em superfícies planas com baixa rugosidade, de modo rápido e seguro. (RHODES, 2018)

Figura 15 - Influência da posição do corte de uma porca sobre seu aspecto macrográfico.



Fonte: RHODES (2018)

Segundo ROHDES, 2018, o procedimento de corte da preferência um corte transversal, se o objetivo é verificar:

- A natureza do material: aço, ferro pudlado;
- Se a seção é inteiramente homogênea ou não;

- A forma e intensidade da segregação;
- A posição, forma e dimensões das bolhas;
- A forma e dimensões das dendritas;
- A existência de restos de vazios;
- Se a peça sofreu cementação, a profundidade e regularidade desta;
- A profundidade da têmpera;
- Se um tubo é inteiriço, caldeado ou soldado;
- Certos detalhes de soldas de chapas (seção transversal da solda);
- No caso de ferramentas de corte, caldeadas, a espessura e regularidade das camadas caldeadas (seção perpendicular ao gume);
- A regularidade e a profundidade de partes coquilhadas de ferro fundido, etc.

Um corte longitudinal será preferível quando se quer verificar:

- Se uma peça é fundida, forjada ou laminada;
- Se a peça foi estampada ou torneada;
- A solda de barras;
- Como se processou um caldeamento de topo;
- Eventuais defeitos nas proximidades de fraturas;
- A extensão de tratamentos térmicos superficiais, etc.

8.1.4 Aplicação do líquido penetrante

Líquido normalmente na cor vermelha, deve ser espalhado sobre a superfície da peça de modo que forme uma camada ou filme, penetrando nas discontinuidades pela ação da capilaridade. Deve ser aplicado por imersão, pincelamento, derramamento em toda a superfície de interesse, e deve permanecer na superfície durante um tempo mínimo de penetração indicado pelo fabricante, porém não inferior a 10 minutos, nem superior a 60 minutos.

Segundo a norma da Petrobrás N-1596:

4.5.1 A camada de líquido penetrante aplicada à superfície deve cobrir toda a área de ensaio prevista e ser mantida úmida durante todo o tempo de penetração.

4.5.2 O tempo de penetração deve ser suficiente para que haja completa penetração nas discontinuidades.

4.5.2.1 Para faixa de temperatura de 10 °C a 52 °C deve-se adotar o tempo mínimo de penetração indicado pelo fabricante, porém sempre superior a 10 minutos e inferior a 60 minutos.

4.5.2.2 Para temperaturas acima de 52 °C o tempo de penetração é uma variável essencial que deve ser descrita no procedimento qualificado.

8.1.5 Aplicação do revelador

O revelador consiste em uma substância em pó branco (talco), que pode ser aplicada seca ou em estado suspenso, diluída em um líquido, sobre a área de interesse do corpo de prova. Sua aplicação baseia-se em um filme uniforme sobre a área onde previamente foi utilizado o líquido penetrante.

O revelador age absorvendo o penetrante das discontinuidades e revelando-as. Deve ser previsto um determinado tempo de revelação para sucesso do ensaio. (FERRARESI, 2018)

Segundo a norma da Petrobrás N-1596, devemos respeitar alguns parâmetros quanto a aplicação do revelador:

4.6.1 Na aplicação do revelador, não é permitido o uso de pincéis, escovas ou similares.

4.6.2 Para aplicação do revelador através de pulverização por meio de ar comprimido, a pressão máxima permitida é de 210 kPa (30 psi). Deve ser prevista a instalação de filtros na linha de ar, para evitar a contaminação do revelador com água, óleo ou materiais estranhos.

4.6.3 A aplicação do revelador deve ser feita de modo a obter-se uma camada fina e uniforme sobre toda a superfície em ensaio.

4.6.4 Para reveladores úmidos aquosos, o tempo de secagem da água pode ser diminuído com o uso de sopro de ar quente, desde que a temperatura da superfície não exceda a temperatura máxima indicada no procedimento.

8.1.6 Inspeção



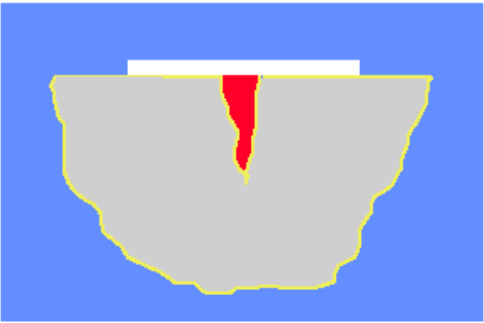
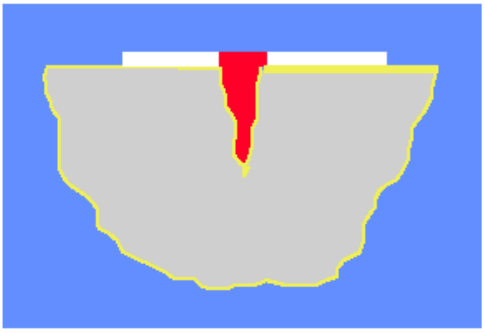
Após respeitado a ordem de reagentes e seus tempos respectivos de secagem, a inspeção tem como a finalidade de identificar as discontinuidades do material.

Como o revelador atua como um mata-borrão, as indicações serão sempre maiores do que o tamanho real das discontinuidades. Quanto maior a discontinuidade, mais penetrante dentro da mesma e maior o tamanho da indicação. Pelo mesmo motivo, as discontinuidades pequenas, fechadas ou rasas, apresentam uma indicação bastante suave, muitas vezes de coloração rosada (no caso de penetrante vermelho). (FERRARESI, 2018)

Portanto, a inspeção deve ser feita em um ambiente bem iluminado, quando o penetrante for visível, ou sob a luz negra em ambiente escuro, caso o penetrante seja do tipo fluorescente.

A interpretação dos resultados deve ser baseada nos objetivos que estão sendo buscados através do teste, levando em consideração as especificações de fabricação da peça, exigência técnica do cliente, bem como as normas regentes para tal atividade.

Tabela 13 - Etapas da aplicação do líquido penetrante

	
<p>A - Penetrante aplicado na superfície</p>	<p>B – Remoção do excesso de penetrante</p>
	
<p>C – Aplicação do revelador na superfície</p>	<p>D – Indicação da descontinuidade</p> <p style="text-align: center;">Figura 1</p>

Fonte: FERRARESI, 2018

8.2 Ataque químico

Com o objetivo de permitir a visualização e identificação dos contornos de grão e as diferenças entre as fases da microestrutura, o ataque químico constitui na aplicação de um reagente ácido em contato com a face da peça por um determinado tempo. A ação da solução química iniciará uma corrosão da superfície, o que revelará as características da solda.

Os reagentes são escolhidos em função do material e constituição das macroestruturas. Antes da amostra sofrer o ataque, deve estar limpa e seca, utilizando-se de líquidos de baixo ponto de ebulição (álcool, éter, etc), e posteriormente secadas rapidamente com um jato de ar quente proveniente de um secador ou soprador térmico.

Uma amostra lixada e polida está pronta para o exame macro ou microscópico desde que os seus elementos estruturais possam ser distinguidos uns dos outros, através da diferenciação de cor, relevo, falhas estruturais como trincas, poros, etc. (RHODES,2018)

9 PROBLEMA A SER PESQUISADO

9.1 Garra florestal para movimentação de madeira

A garra florestal constitui na solução ideal para a necessidade de movimentação de madeira no mercado florestal, se mostrando parte fundamental no processo produtivo madeireiro seja de pequenas e grandes indústrias.

Este equipamento é composto de uma cabeça, duas unhas, um ou dois atuadores hidráulicos, um rotator responsável por conferir a possibilidade de um giro de 360° no eixo horizontal do equipamento, além de dispositivos de fixação e mangueiras hidráulicas.

Figura 16 - Garra Florestal Potenza GD80



Fonte: Potenza Indústria, 2018

9.1.2 Garra florestal traçadora

Um produto subsequente das garras florestais, se constitui como kit que aumenta a aplicação do dispositivo, criando uma nova solução para a indústria madeireira, aliando o poder de corte a movimentação de carga.

O objetivo principal da garra traçadora potencializar a carga ou descarga de madeira, oferecendo ao cliente a possibilidade do corte da madeira em tamanho pré-estabelecidos de acordo com a necessidade e aplicação específica.

É constituída basicamente por uma garra florestal, um suporte responsável pela união do dispositivo de corte com a garra, um motor hidráulico responsável por movimentar a corrente do sabre, e um cilindro hidráulico que faz com que o sabre avance sobre a madeira.

Figura 17 - Garra Traçadora Potenza



Fonte: Potenza Indústria, 2018

9.2 Falha no conjunto soldado

Alguns destes equipamentos de movimentação apresentaram trincas na área de solda do olhal na chapa da cabeça, onde o pino responsável pela fixação e movimentação da unha é alojado. Trinca essa que com o regime de trabalho evolui para uma fissura maior, causando o rompimento e falha total do equipamento, como visto na figura 18, integrante do laudo preliminar efetuado pelo setor de qualidade da empresa.

A garra em questão, se tratava de um modelo traçador, da linha GD135S. Anteriormente a comunicação da falha, o produto recebeu uma solda adicional em campo, por responsabilidade da empresa que fazia a operação do equipamento, na tentativa de barrar o aumento das trincas, e evitar a quebra.

Porém devido ao regime de trabalho, o conjunto soldado, por razão dessa trinca na área de solda, foi arrancado completamente da extremidade da chapa. Ao examinar as superfícies, é possível então identificar uma falha na fundição do material de base – chapa metálica e olhal – com o material de adição – solda.

Figura 18 - Garra GD135S



Fonte: Potenza Industria, 2018

Assim, este trabalho tem como problemática a investigação da falha na soldagem, levando em considerações os materiais utilizados, e o processo de soldagem, através de uma análise metalográfica dos componentes que apresentaram defeito, buscando então determinar as causas analisando a penetração da solda e a fusão entre os materiais.

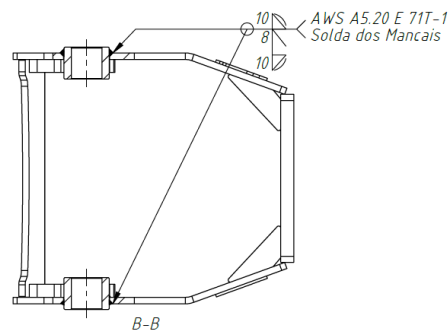
9.3 Projeto

No dimensionamento e especificação do projeto, indica-se a nomenclatura de solda padrão AWS 5.20 E71T-1 com cordão de 10mm e solda raiz de 8mm.

Sendo AWS, *American Welding Society*, o órgão regulamentador internacional para soldagem, 5.20 corresponde sessão de arames tubulares para soldagem de aço carbono com fluxo interno. 'E' significa soldagem a arco, enquanto o numeral '71' indica o limite de resistência em KSI.

Utiliza-se a letra "T", seguida de um número de 1 a 17 ou da letra "G". A letra "T" indica o eletrodo *flux cored* ou *metal cored*.

Figura 19 - Desenho técnico GD135S



Fonte: Potenza Indústria

Segundo informações encontradas em KOBE STEEL, 2018, este metal de adição pode ser utilizado para qualquer posição de soldagem.

Figura 20 - Especificação da sigla AWS 5.20 E71T-1C

Flux cored wire

Features:

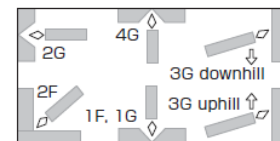
- Suitable for welding in all positions including vertical downward
- Excellent performance especially in vertical upward

Classification: AWS A5.20 E71T-1C

Shielding gas: CO₂

Polarity: DCEP

Welding Positions:



Fonte: KOBE STEEL, LTD

Os materiais utilizados no processo são OPTIM 700QL nas chapas laterais da cabeça, e ASTM A36 usinado no olhal.

10 MATERIAIS E MÉTODOS

Devido a ocorrência da falha, o setor responsável pela garantia do equipamento foi acionado, e a garra foi retornada a empresa para o laudo técnico preliminar. Após a desmontagens dos conjuntos e limpeza das peças, foi possível analisar a dimensão do problema.

A princípio a causa inicial da quebra foi uma falha de fundição do material, como pode ser observado na figura 18. Porém, o uso incorreto do equipamento não foi descartado pelo setor de engenharia, visto que é comum os operadores utilizarem o equipamento para organizar

as cargas de madeira em cima dos caminhões, devido a forma como a chapa se deformou. A operação conhecida ‘chuveirinho’ não é coberta pelo projeto, e pela garantia que a empresa fornece ao produto.

Figura 21 - Imagem do componente que apresentou a falha



Fonte: O autor

Portanto, a fim de identificar as causas reais do problema a descartar o uso inadequado do equipamento é necessário efetuar uma análise metalográfica, que permitirá então observar a penetração da solda e identificar possíveis defeitos de fabricação.

Figura 22 - Detalhe da solda e pontos de ruptura da chapa

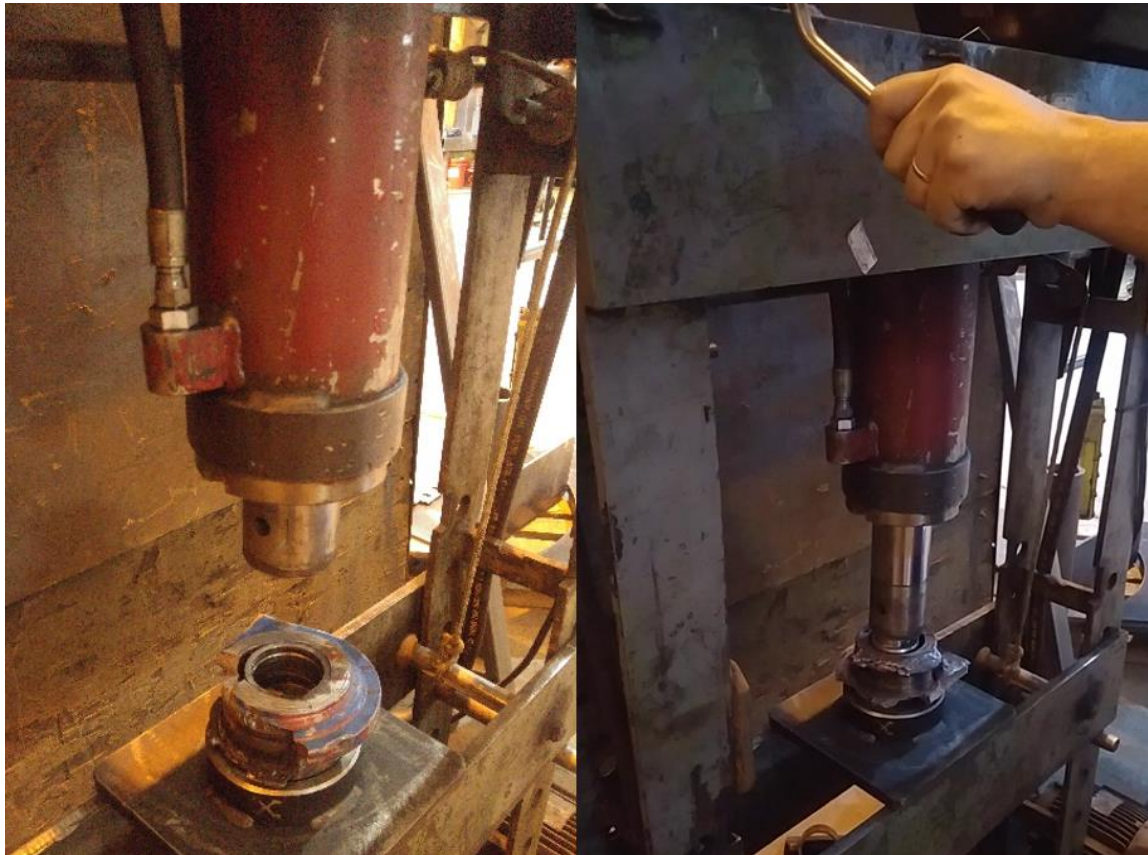


Fonte: O autor

10.1 Preparação corpo de prova

Para início das análises metalográficas, como referenciado anteriormente, será necessário secionar o copo de prova afim de que possamos observar a deposição do metal de adição na junta soldada. Porém o conjunto ainda estava montado com uma bucha de aço temperado no interior do olhal, utilizada na montagem dos pinos que unem as unhas a cabeça do equipamento. Com a falha, a bucha deformou no interior da peça, o que dificultaria a operação de corte visto a dureza elevada, por conta da sua aplicação de alto desgaste. Então, com a ajuda de uma prensa hidráulica disponibilizada pela empresa, a bucha foi extraída da amostra.

Figura 23 - Extração da bucha metálica



Fonte: O Autor

Sem a bucha de aço, o conjunto soldado pode ser cortado sem maiores complicações. Com o auxílio de uma máquina de corte serra fita com líquido refrigerante, para que o calor proveniente do corte do material não influencie nas superfícies dos testes laboratoriais, o conjunto soldado foi secionado.

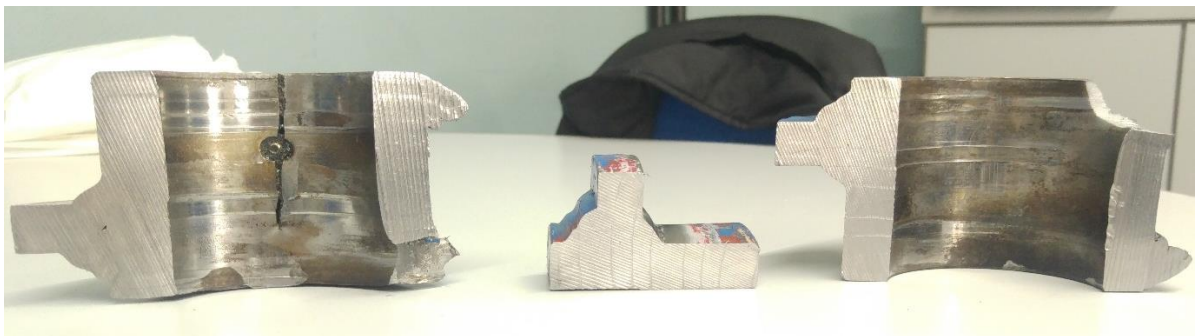
Figura 24 - Corte do corpo de prova



Fonte: O Autor

Como resultado da etapa de corte, obtivemos um corpo de prova de aproximadamente 30 mm de largura, constituído pelo material da chapa, material do olhar e material de adição, o qual será alvo do ataque dos reagentes metalográficos.

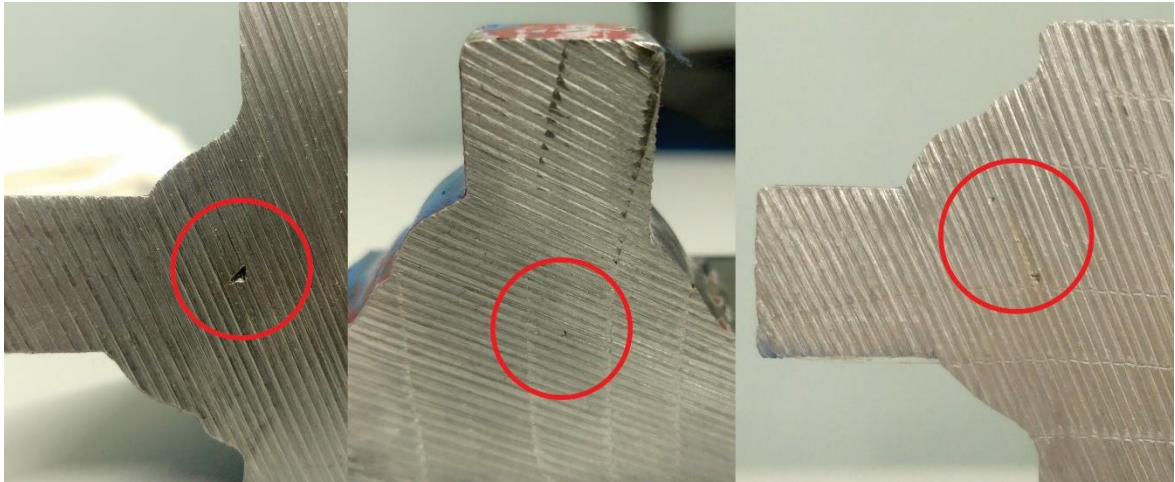
Figura 25 - Resultado do corte do conjunto soldado



Fonte: O Autor

Logo após a conclusão desta etapa, já podemos observar a vista desarmada, pequenas falhas de fundição do material no começo do chanfro da chapa, onde situa-se a solda do passe raíz. Aparentemente essa lacuna parece se estender ao longo do raio da peça.

Figura 26 - Falhas de penetração de solda



Fonte: O Autor

O próximo passo na preparação do corpo de prova, constitui-se na preparação das superfícies para os testes laboratoriais. Utilizando as dependências laboratoriais do CEDUP Industrial de Lages, preparou-se então as superfícies do corpo com uma máquina poltriz metalográfica com refrigeração a água, com a utilização de lixas d'água com granulometria de 40, 80, 120, 240, 600, 800, 1200 respectivamente, e por fim, lustradas com alumina, para que obtivessem um acabamento superficial o mais liso possível.

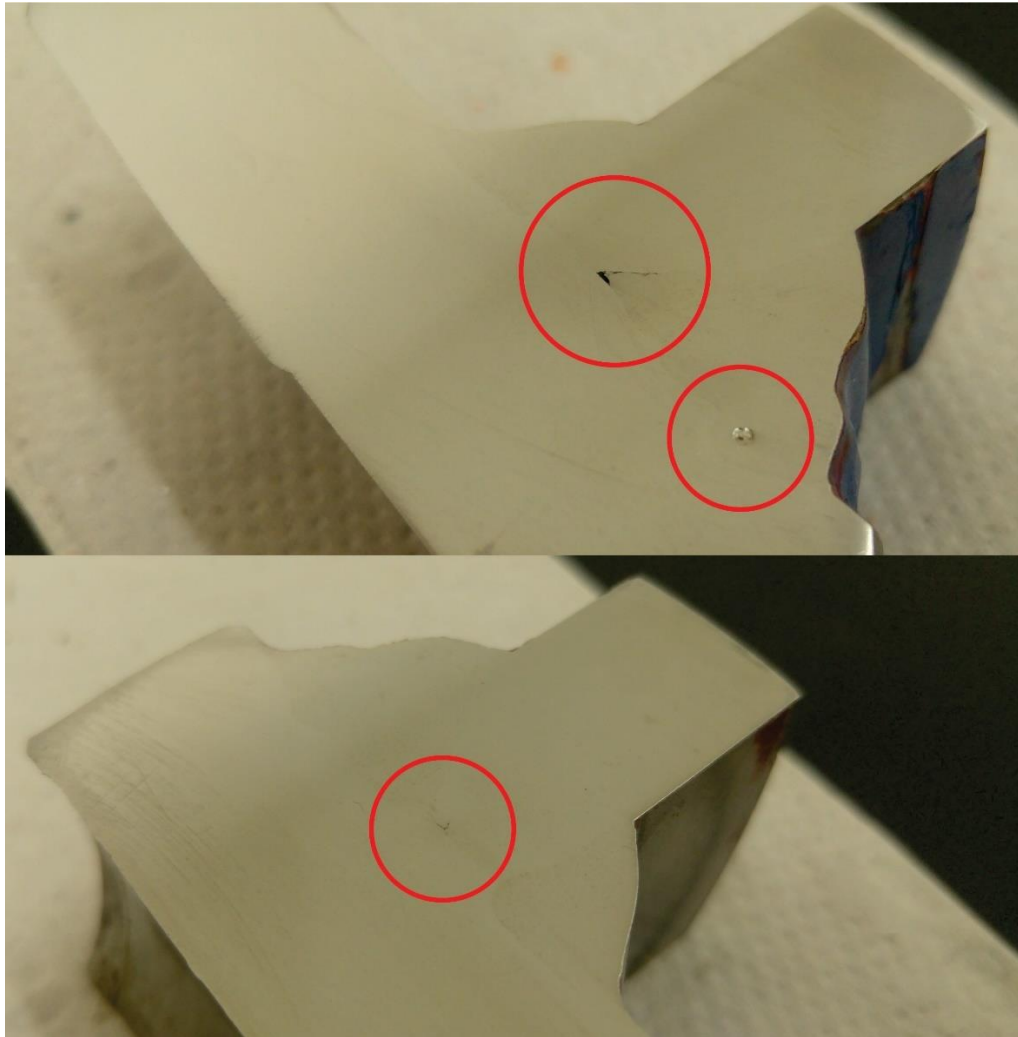
Figura 27 - Preparação das superfícies no laboratório do CEDUP



Fonte: O Autor

Após a conclusão da operação de lixa, já é possível observar a deposição e a falta de penetração da solda. Pode-se observar também a formação de um pequeno poro no final do cordão.

Figura 28 - Superfícies acabadas do corpo de prova



Fonte: O Autor

10.2 Testes laboratoriais

Com a preparação do corpo de prova já finalizada, utilizou-se das dependências laboratoriais do Centro Universitário Unifacvest para o ataque das superfícies com os reagentes ácidos. Para o primeiro teste, definiu-se que a face com menor acabamento superficial iria receber o teste macrográfico.

Seguindo as indicações de RHODES, 2018, com base nos objetivos do teste e constituição dos materiais foram definidos os reagentes.

Tabela 14 - Composição química e aplicação dos reagentes

Designação metalográfica	Composição	Aplicação
Reativo de ação profunda p/ aço	1 parte de ácido clorídrico concentrado 1 parte de água	Reativo para Macrografia de aço, segregações, inclusões, fissuras, escórias, poros.
Nital a 10%	90 ml de álcool etílico 10 ml de ácido nítrico concentrado	Em ataques microscópicos de ação profunda para tornar visível constituintes especiais da estrutura em aços e ferros (carbonetos, eutético fosforoso) não ligados e de baixa liga. Em casos isolados também como reativo p/ microscopia de alta liga. Em macroscopia p/ camadas cementadas respectivamente profundidade de endurecimento.

Fonte: RHODES, 2018

Seguindo as orientações e conforme visto na figura 31, foram diluídos 50 mililitros de ácido clorídrico (HCl) com concentração de 35% em 50 mililitros de água destilada (H₂O). Em seguida a solução foi aquecida dentro da capela do laboratório até próximo a sua temperatura de ebulição, em torno de 65°C.

Figura 29 - Preparação da solução para o teste macrográfico



Fonte: O Autor

Para início do teste, a face escolhida do corpo de prova foi mergulhada no líquido por aproximadamente 1 minuto. Após notarmos a reação do ácido, a peça foi limpa com água corrente para que a reação fosse interrompida, depois limpa com álcool etílico para que sua superfície não sofresse oxidação da atmosfera, e seca por um soprador térmico de forma indireta.

As etapas deste processo podem ser observadas na sequência composta pela figura 30.

Figura 30 - Ataque de ácido clorídrico na superfície do corpo de prova



Fonte: O Autor

Para a segunda etapa do teste, destinou-se a outra face do corpo de provas para a análise micrográfica. Antes da imersão, a face que recebeu o ácido clorídrico foi protegida, para evitar qualquer processo de oxidação decorrente da ação atmosférica ou do segundo reagente.

Figura 31 - Peça imersa em Nital 10%



Fonte: O Autor

A quantidade de 10 mililitros de ácido nítrico foi diluída em 90 mililitros de álcool etílico, formando então Nital a 10% de concentração. Em seguida a face escolhida foi mergulhada no líquido por aproximadamente 2 minutos, conforme a figura 34, para que reagisse. Após os sinais de reação, foram repetidos os procedimentos de limpeza, a face foi lavada em água corrente para interromper a reação do ácido com a superfície, e limpada com álcool etílico para evitar oxidação.

10.3 Líquido penetrante

Além do ensaio macrográfico, destinou-se também um dos corpos de prova ao teste de líquido penetrante. Visto que o conjunto soldado recebeu uma solda de eletrodo adicional em campo, foi escolhida portanto, uma das faces que ainda mostrada o cordão de solda original intacto.

Figura 32 - Remoção da tinta ao longo do longo do cordão de solda



Fonte: O Autor

Com o auxílio de uma escova rotativa, toda a tinta superficial foi removida ao longo do cordão de solda, preparando a superfície para o teste, conforme figura 32 e 33.

Figura 33 - Superfície livre da tinta



Fonte: O Autor

Obedecendo as ordens de aplicações do produto, foi espalhado uma camada uniforme na superfície a ser analisada.

Figura 34 - Aplicação do líquido penetrante



Fonte: O Autor

Após o tempo mínimo de 10 minutos de penetração, segundo norma Petrobrás N-1596, a superfície foi limpa com o removedor.

Figura 35 - Remoção do líquido penetrante



Fonte: O Autor

Em seguida, foi aplicada uma camada uniforme do spray revelador, conforme a ordem dos reagentes.

Figura 36 - Aplicação do revelador

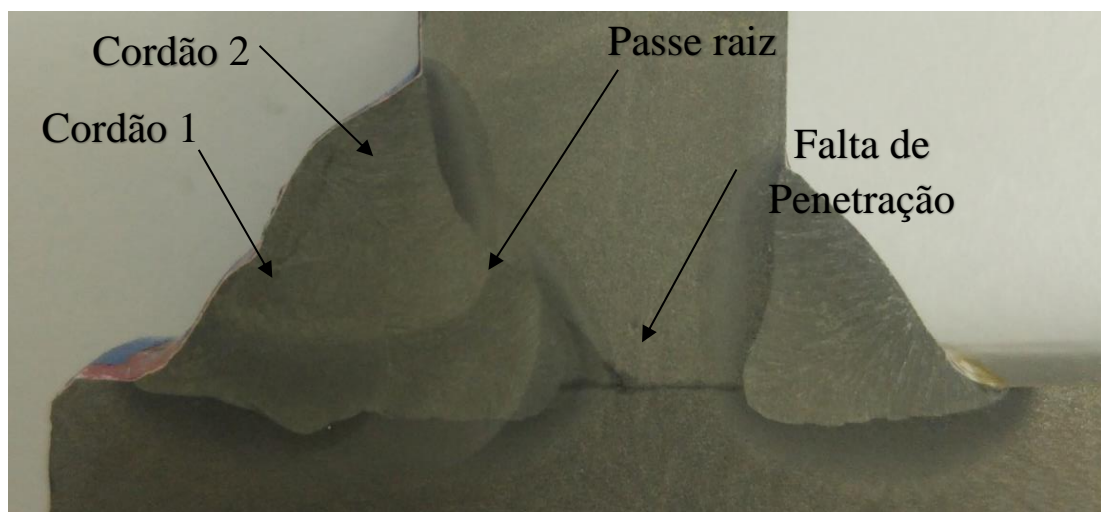


Fonte: O Autor

11 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao comparar as faces da amostra após o teste, o ataque com Nital 10% se mostrou mais eficiente na superfície, fazendo com que o contraste entre os materiais de base e adição se tornassem bastante evidentes, mesmo a olho nu.

Figura 37 - Resultado da ação do Nital 10%

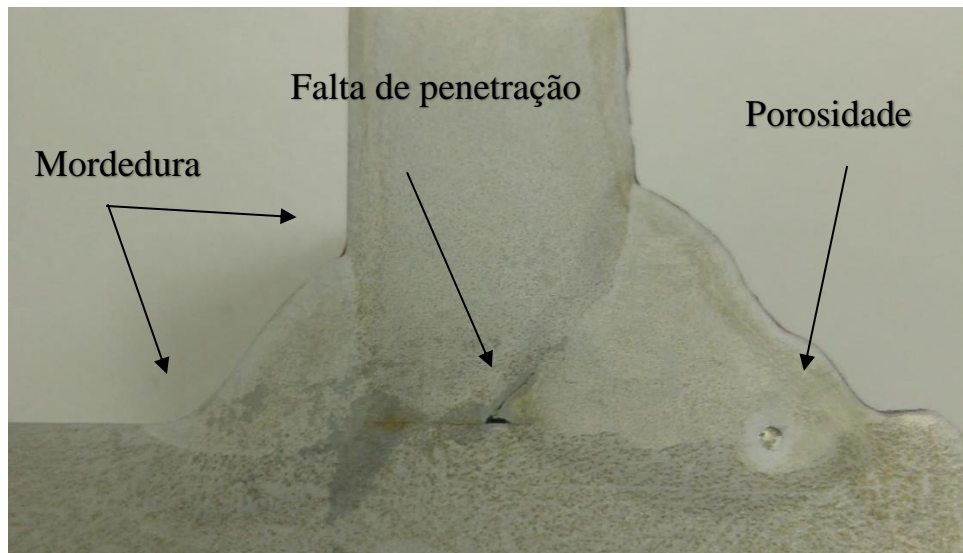


Fonte: O Autor

É possível observar nitidamente os cordões de solda utilizado no conjunto, bem como suas zonas termicamente afetadas. Com isso, pode-se também verificar a quantidade de passes no processo de união das juntas. Fica claro a utilização de 3 cordões de solda para preencher o lado do chanfro na peça, o qual apresenta uma falha de fundição no começo do ângulo, e apenas um passe no lado contrário.

Na face atacada com ácido clorídrico, podemos constatar uma menor penetração da solda e falta de fusão, além da presença de um poro na extremidade do cordão, e sinais de mordedura.

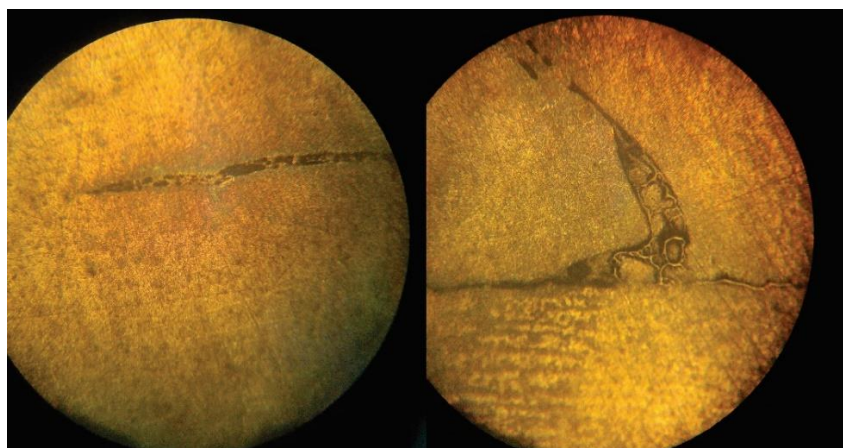
Figura 38 - Resultado do teste macrográfico



Fonte: O Autor

Ao analisar a área do microscópio, tem-se uma maior dimensão da falta de fusão dos materiais.

Figura 39 – Área do chanfro com deficiência na fusão



Fonte: O Autor

Podemos observar que a falta de penetração da solda nos materiais começa a ocorrer ao nos aproximarmos do início do chanfro, com isso podemos destacar que, o tamanho do mesmo no perímetro do círculo de encaixe do olhal parece ter influenciado na penetração e fusão do material de adição e dos materiais de base.

Como referenciado anteriormente na tabela 8, as hipóteses e suas ações corretivas relacionadas a estes defeitos são:

DEFEITO	CAUSA E/OU AÇÃO CORRETIVA
Porosidade	<ul style="list-style-type: none"> • Óleo, oxidação grosseira, carepa, etc. • Arame - pode ser necessário um arame com teores mais altos de Mn e Si. • Problema de proteção: vento, bocal obstruído ou pequeno, mangueira de gás danificada, vazão de gás excessiva, etc. • Falha na remoção da escória vítrea entre os passes de solda. • Soldagem sobre a escória de eletrodo revestido.
Falta de penetração	<ul style="list-style-type: none"> • Junta de solda muito estreita. • Corrente de soldagem muito baixa; extensão do eletrodo muito grande. • Poça de fusão passando à frente do arco.
Falta de fusão	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão e/ou corrente de soldagem muito baixa. • Polaridade errada; deveria ser CC+. • Velocidade de soldagem muito baixa. • Soldagem sobre um cordão convexo. • Oscilação da tocha muito larga ou muito estreita. • Oxidação excessiva na chapa.
Mordedura	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade de soldagem muito alta. • Tensão de soldagem muito alta. • Corrente de soldagem excessiva. • Parada insuficiente às margens do cordão de solda.

Fonte: NERIS (2012)

Quanto a ação do líquido penetrante, como observado na figura abaixo, nenhuma trinca no cordão pode ser observada. Apenas indícios de lacunas na solda de eletrodo, efetuada pela empresa responsável pela operação da garra em campo.

Figura 40 - Resultado do líquido penetrante



Fonte: O Autor

A solda de eletrodo efetuada por cima da solda MIG na tentativa de controlar a fissura existente no olhal, pode ter potencializado a falha,

O calor na região de soldagem é rapidamente escoado por toda a massa envolvida no processo, acarretando um resfriamento relativamente rápido. Em alguns metais esse resfriamento rápido pode contribuir para a formação de microestruturas prejudiciais na região de soldagem. O pré-aquecimento da junta a ser soldada é uma maneira de reduzir a taxa de resfriamento do metal. (KLETTENBERG, 2013)

A temperatura alta proveniente da deposição do eletrodo e o resfriamento rápido da área, sem um pré e pós-aquecimento faz com que o material fique ainda mais duro, e consequentemente mais frágil ao ciclo de trabalho.

Entretanto, para a maioria dos aços carbono e de baixa liga, apenas o pré-aquecimento é necessário de um modo geral. O pré-aquecimento a 120 - 150°C é geralmente empregado na soldagem multipasse em seções de espessura maior que 25 mm para reduzir a susceptibilidade da solda à fissuração. (KLETTENBERG, 2013)

Através dos resultados observados no teste metalográfico, e levando em consideração as informações a encontradas através da bibliografia, foi solicitado uma mudança nos projetos que envolvem a solda dos olhais nas cabeças das garras floreste. Conforme anexo 1, os chanfros nas chapas laterais foram ampliados, afim de garantir a penetração do material de adição nos conjuntos soldados.

Ainda pertinente as causas da falha, é válido destacar o ambiente de solda da empresa. Atualmente o setor não conta com um arranjo físico adequado. Há pouca iluminação, e pouca proteção física contracorrentes de ar, uma vez que o espaço destinado a atividade se encontra próximo a uma das entradas do barracão.

Figura 41 - Área de solda da empresa



Fonte: O Autor

A falta de iluminação remete a porosidade encontrada na figura 38, a qual pode ser proveniente da falta de limpeza da área de solda. Uma corrente de ar pode atrapalhar a proteção gasosa durante a soldagem, ocasionando também a formação de poros no cordão.

As falhas constatadas na metalografia aliadas aos fatores de operação do campo como, falta de experiência na operação, e utilização da garra de modo incorreto na organização de cargas de madeira nos caminhões ou batidas laterais para acomodação das toras, podem ser um fator responsável pela aparição das fissuras ao longo da solda nos olhais.

12 CONCLUSÃO

Ao longo dos testes foi possível encontrar indícios de falhas na preparação das juntas soldadas, bem como deficiência nas dependências utilizadas para execução da tarefa. A soma destes fatores, aliadas a condições de operação, e ação corretiva despreparada da empresa responsável pela operação de campo, levaram o produto a quebra.

Os dados coletados ao longo da construção desta análise, se mostraram importantes, tanto do ponto de vista acadêmico quanto profissional, e serviram de base para algumas ações internas da empresa, tanto na preparação das peças, gerando uma solicitação de mudança de projeto, como na atenção as dependências físicas da área de solda.

Vale destacar que, a busca por esta melhoria de processo, acarreta em ganhos futuros a empresa, seja em relação a confiabilidade dos produtos, ou no âmbito financeiro, auxiliando na diminuição dos custos relacionados a garantia.

Através da pesquisa efetuada para elaboração deste projeto, pode-se constatar a complexidade que envolvem os processos de soldagem, bem como a necessidade da execução desse procedimento com qualidade. Afim de garantir uma continuidade e garantia nos produtos, é possível utilizar-se de análises para acompanhamento e desempenho do conjunto soldado, e até mesmo, como método investigativo em caso de falha.

REFERÊNCIAS

Centro Brasileiro Da Construção Em Aço. **Construção Em Aço: Aços estruturais**. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>. Acesso em: 05 set. 2018.

ESAB BR. **Apostila de Soldagem MIG/MAG**. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em: 25 set. 2018.

FERRARESI, V. **Anotações de aula do Prof. Valtair Antonio Ferraresi. Matéria: Ensaio não destrutivo**. Disponível em: <<ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/Valtair%20-%20END/L%20CDQUIDO%20PENETRANTE.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2018.

KLETTENBERG, L. G. **LIGAÇÕES SOLDADAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS**. Curitiba: DEMEC-TC/UFPR. 2013.

KOBE STEEL, LTD. **Welding Handbook**. Fukuda Printing CO., LTD.

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

NERIS, M. M.; **Apostila de Soldagem**. São Paulo: Centro Paula Souza, 2012.

OLIVEIRA, J. de M. **Noções de Metalografia**. Disponível em: <http://profpaulofj.webs.com/apostilas/TECNOLOGIA_Metalografia.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2018.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C; **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. São Paulo, LTC, 2012.

PCP STEEL. **Chapas OPTIM 700SQL**. Disponível em: <<http://www.pcpprodutos.net/pt-br/produtos>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

POTENZA INDUSTRIA. **Potência em movimento**. Disponível em: <<http://potenzaindustria.com.br/>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

PETROBRAS. Norma Petrobras **N-1596 - Líquido Penetrante**. Comissão de Normas Técnicas. Rev E. 2003.


RODRIGUES, R.; GONÇALVES, J. C.; **Procedimentos de Metodologia Científica**. 8. ed. Lages. PAPERVEST. 2017.

TENAX AÇOS ESPECIAIS. **Aços Carbono / ASTM A36**. Disponível em: <<http://www.tenax.com.br/tenax/produtos/acos-para-construcao-mecanica/astm-a36/>>. Acesso em: 11 maio 2018.

RHODES, R. A. **METALOGRAFIA: PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS**. Disponível em: <<http://www.creadigital.com.br/rs/regisrohde>>. Acesso em: 14 jun. 2018

ANEXOS

Anexo 1 - Termo de solicitação de mudança

 TERMO DE SOLICITAÇÃO DE MUDANÇA <small>Q – PRJ03 Versão 01 Página 68 de 71</small> 	
SM: 05-18	
1. APRESENTAÇÃO	
<p>Este documento tem o propósito de realizar solicitações de mudanças levantadas durante a execução do projeto e subsidiar informação aos principais <i>envolvidos no projeto</i> na tomada de decisão.</p>	
2. IDENTIFICAÇÃO DA MUDANÇA	
Projeto	<i>Garras Florestais GP60, GP80, GP100, GP135</i>
Chefe do Projeto	<i>Giovani Brignoni</i>
Data da Solicitação	<i>21/11/2018</i>
Solicitada por	<i>Adriani Lima</i>
3. ANÁLISE DA MUDANÇA	
Frete de Trabalho da EAP: GP60, GP80, GP100, GP135	
Produto: <i>Chapas Laterais, Chapas da Unha, GP60-PU005, GP60-PU002, GP60-PU001, GP80-PU005, GP100-PU002, GP100-PU001, GD135S-PU001, GD135S-PU005</i>	
Mudança no: <input type="checkbox"/> Escopo <input type="checkbox"/> Prazo <input checked="" type="checkbox"/> Custo <input checked="" type="checkbox"/> Recurso	
Ação da Mudança: <input checked="" type="checkbox"/> Corretiva <input type="checkbox"/> Preventiva	
Descrição da Mudança:	
<i>- Aumento no ângulo de chanfro das chapas laterais da cabeça e unha no encaixe do olhal.</i>	
Justificativa:	
<i>- Melhor penetração e deposição do passe de solda raíz. - Padronização das medidas.</i>	
4. VERIFICAÇÃO DA MUDANÇA	
Impacto da não implementação:	
<i>- Falta de penetração do cordão soldado - Risco de trinca ao longo do cordão de solda..</i>	
Outro (s) Projeto (s) Impactado (s):	

5. VALIDAÇÃO		
Decisão Final:		<input type="checkbox"/> Aprovada <input type="checkbox"/> Aprovada com considerações <input type="checkbox"/> Rejeitada
Nome: <i>Cleverson</i> Cargo: <i>Enc. Produção</i>	_____	_____
	Data	Assinatura
Nome: <i>Diogo Pasetti</i> Cargo: <i>Engenharia</i>	_____	_____
	Data	Assinatura
Nome: <i>Giovani Brignoni</i> Cargo: <i>Diretor</i>	_____	_____
	Data	Assinatura
Nome: <i>Júlio Cesar</i> Cargo: <i>Compras</i>	_____	_____
	Data	Assinatura
Nome: <i>Dione Armiliato</i> Cargo: <i>Montagem</i>	_____	_____
	Data	Assinatura
Considerações:		

