

# MARINHA DO BRASIL

## ESCOLA TÉCNICA DO ARSENAL DE MARINHA



TRABALHO EM GRUPO:	<b>QTIP 2024/02</b>	FASE:	<b>PRELIMINAR</b>
TIPO DOC.:	<b>RELATÓRIO TÉCNICO</b>	DATA DO DOCUMENTO	20/08/2024
CONSTRUÇÃO DE UMA CARTILHA INFORMATIVA PARA O APRIMORAMENTO DE TÉCNICAS DE SOLDAGEM NOS PRINCIPAIS METAIS E LIGAS UTILIZADAS NA MB.			
GRAU DE SIGILO:	RESPONSÁVEIS:		
<b>OSTENSIVO</b>	3ºSG-ML 17.1049.47 RAFAEL RIBEIRO DE SOUZA; 3ºSG-ML 17.1043.94 IAGO TAROCCO ELIAS; 3ºSG-ML 17.1047.69 REGINALDO DIAMANTE PEREIRA; 3ºSG-ML 17.1042.20 DÉRYK BRUNO ALVES FERREIRA; 3ºSG-ML 17.1050.81 MARCIA ARAUJO SANTOS; 3ºSG-ML 17.1049.98 MARCUS VINÍCIUS AZEVEDO DE ABREU; 3ºSG-ML 17.1051.45 LUIS EDUARDO SILVA VASCONCELOS; 3ºSG-ML 17.1041.81 SILVIA ARRUDA SOARES; 3ºSG-ML 17.1041.90 YAN MAXIMO SILVA; CB-ML 18.1014.11 WALLACE MESSIAS MAIRINQUE.		
	ORIENTADOR: <b>SO-RM1-MT ROBÉRIO</b>		
SINOPSE:			
<p>O presente projeto tem como objetivo a criação de uma cartilha informativa voltada para profissionais da soldagem, abordando características e procedimentos de soldagem dos principais metais e ligas metálicas usadas na MB. Dentre esses materiais abordaremos os ferrosos e suas principais ligas, como: Ferro fundido, aço carbono, aço inoxidáveis e o aço HY-80, além também dos principais metais não ferrosos e suas ligas, como: Alumínio e suas principais ligas e o Cobre e suas principais ligas (Latão, Bronze e o Cuproníquel). A cartilha oferecerá informações detalhadas sobre as características desses materiais e os processos de soldagem mais eficazes, apresentando conteúdo acessível tanto para iniciantes quanto para profissionais experientes. Além de servir como um recurso técnico de fácil consulta, a cartilha contribuirá para a capacitação rápida e eficiente desses profissionais, promovendo melhores práticas e elevando a qualidade s. trabalhos realizados na indústria naval e em outras áreas do setor metalúrgico.</p>			

**MARINHA DO BRASIL**  
**ESCOLA TÉCNICA DO ARSENAL DE MARINHA**

**C-EXP-ML 2024/02**

**SUMÁRIO**

**TÍTULO:** CONSTRUÇÃO DE UMA CARTILHA INFORMATIVA PARA O  
APRIMORAMENTO DE TÉCNICAS DE SOLDAGEM NOS PRINCIPAIS  
METAIS E LIGAS UTILIZADAS NA MB.

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>3</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>4</b>
<b>3 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>4</b>
3.1 AÇOS INOXIDÁVEIS.....	4
3.1.1 Aços martensíticos.....	5
3.1.2 Aços austeníticos.....	9
3.1.3 Aços ferríticos.....	10
3.1.4 Aços duplex e superduplex.....	12
3.1.5 Ferro fundido.....	17
3.1.6 Aço HY80.....	25
3.2 BRONZE.....	28
3.3 LATÃO.....	29
3.4 CUPRONÍQUEL (Cu-Ni).....	31
3.7 ALUMÍNIO.....	33
<b>4 MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
<b>5 RESULTADOS E DIFICULDADES.....</b>	<b>40</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>7 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>43</b>

**APÊNDICE:**

**APÊNDICE I - RELAÇÃO DE NORMAS E REGULAMENTOS APLICÁVEIS**

## 1- INTRODUÇÃO

O presente projeto tem como objetivo a criação de uma cartilha informativa que introduza e aperfeiçoe os conhecimentos relacionados a adequação de parâmetros e relação dos processos de soldagem com os principais tipos de aço e ligas metálicas utilizados na soldagem. Essa cartilha será desenvolvida com foco na clareza e objetividade, apresentando informações detalhadas sobre as características dos materiais como Alumínio, Aço HY80, Aço Ferrítico, Aço Austenítico, Aço Martensítico, Aço Duplex e o Superduplex, Cobre, Latão, Cuproníquel (Cu-Ni) e Ferro Fundido. A cartilha também buscará catalogar os processos de soldabilidade mais eficazes para cada um desses metais, proporcionando aos leitores uma compreensão profunda e prática das suas propriedades e comportamentos durante o processo de soldagem.

Além de ser um recurso técnico, a cartilha oferecerá um conteúdo acessível e prático tanto para profissionais experientes quanto para iniciantes na área de soldagem. Ela será uma ferramenta de fácil consulta, permitindo aos usuários identificar rapidamente as melhores técnicas e práticas a serem aplicadas em suas atividades diárias, independentemente de seu nível de experiência. Ao proporcionar esse suporte, a cartilha também servirá como um recurso para o desenvolvimento de cursos rápidos e intensivos na área de soldagem, garantindo uma formação sólida e direcionada para os serviços de soldagem, sobretudo os de manutenção embarcados nos Navios da Marinha do Brasil e de empresas do ramo.

Além disso, este projeto destaca-se pela sua abordagem educacional, contribuindo para a capacitação eficiente tanto dos iniciantes quanto para profissionais experientes da área. Dessa forma, o conteúdo da cartilha visa não apenas fornecer instruções técnicas, mas também incentivar uma maior aplicação das melhores práticas, gerando melhorias significativas, inclusive segurança na qualidade dos trabalhos de soldagem realizados. Ademais, é válido destacar que o levantamento bibliográfico desta pesquisa é de suma importância para a área da soldagem, uma vez que, o referencial teórico, normalmente, ainda não se encontra catalogado no âmbito naval.

Destarte, a cartilha proposta, tem o papel de disseminar conhecimento técnico e facilitar a adoção das melhores práticas de soldagem, atuando como um suporte educacional fundamental para o desenvolvimento de profissionais da área. Nesta conjuntura, ao possibilitar uma capacitação rápida e eficiente, o projeto contribuirá para que a soldagem de materiais diversificados seja realizada de maneira mais eficaz, alinhada com as demandas das atividades laborais e as necessidades dos profissionais que trabalham com esses materiais diariamente.

## **2- OBJETIVO**

O projeto tem como objetivo a criação de uma cartilha informativa para a introdução e aprimoramento de conhecimentos sobre os principais materiais usados na soldagem. A cartilha visa fornecer informações claras e objetivas sobre as características desses metais, bem como indicar as técnicas de soldagem mais adequadas para cada um deles. Além de servir como um recurso acessível e prático para profissionais e iniciantes na área, este material também será uma base para o desenvolvimento de cursos rápidos de soldagem. O documento terá a função de apoiar a capacitação rápida e eficiente dos participantes, garantindo que as melhores práticas de soldagem sejam especificadas e aplicadas. Dessa forma, o projeto busca não apenas disseminar conhecimento técnico, mas também oferece um suporte educacional que seja utilizado no dia a dia de forma mais eficaz.

## **3- DESENVOLVIMENTO**

### **3.1 AÇOS INOXIDÁVEIS**

Singularmente com Chiaverini (1986), o aço inox é o termo empregado para identificar uma família de aços contendo no mínimo 11% de cromo, elemento químico que garante ao material elevada resistência à corrosão. Distribuído de forma homogênea por todo o inox, o cromo, ao entrar em contato com o oxigênio do ar, forma uma camada fina, contínua e resistente de óxido sobre a superfície do aço, protegendo-o contra ataques corrosivos do meio ambiente.

Apesar de invisível, estável e com espessura finíssima, essa película é muito aderente ao inox e tem sua resistência aumentada à medida que se adiciona mais cromo à mistura. Mesmo quando o aço sofre algum tipo de dano, sejam arranhões, amassamentos ou cortes, o oxigênio do ar imediatamente combina-se com o cromo, formando novamente o filme protetor (Chiaverini, 1986).

Mas outros elementos adicionados ao inox - níquel, molibdênio, vanádio e tungstênio - também elevam a resistência desse aço à corrosão, além de garantirem ao produto múltiplas aplicações. A seleção correta do tipo de inox e de sua superfície de acabamento é importante para assegurar uma longa vida útil ao material (Chiaverini, 1986).

Assim sendo, conforme o autor supramencionado, é indubitável destacar que os aços inoxidáveis, quando agrupados, de acordo com suas estruturas metalúrgicas, apresentam-se em três grupos básicos:

**Austeníticos** – Aços Inoxidáveis ligados ao cromo e níquel;

**Ferríticos** – Aços Inoxidáveis ligados apenas ao cromo;

**Martensíticos** – Aços Inoxidáveis ligados apenas ao cromo com carbono residual acima de 0,10 %.

### 3.1.1 – AÇOS MARTENSITICOS

O aço inox martensítico (Figura 1), é um material altamente resistente e com elevada dureza. Assim, os aços desse grupo são mais resistentes do que outros tipos, sendo uma boa escolha para a fabricação de instrumentos médicos, válvulas mecânicas, peças de turbinas, instrumentos mecânicos, entre muitas outras aplicações.

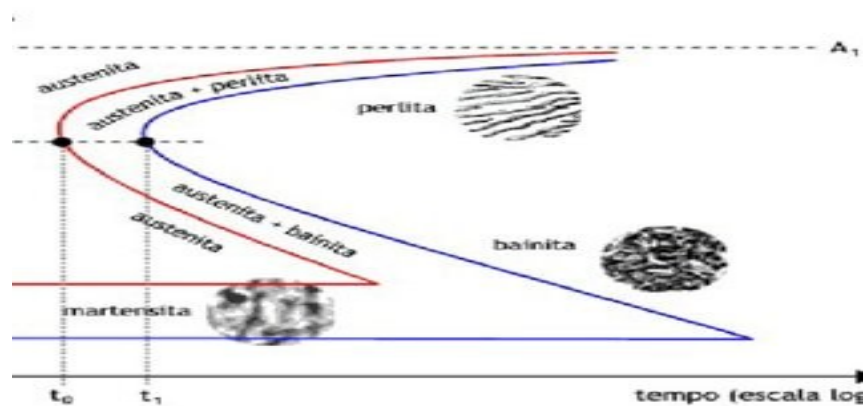
Figura 1: Microestrutura da Martensita



Fonte: <https://acosnobre.com.br/blog/aco-inox-martensitico/>

Neste sentido, Chiaverini (1986) descreve os aços martensíticos como aqueles que possuem uma microestrutura resultante da transformação martensítica, uma fase que se forma quando o aço é resfriado rapidamente (têmpera) a partir da fase austenítica. Esse rápido resfriamento suprime a formação de fases mais equilibradas, como ferrita e perlita, resultando em uma estrutura muito dura e resistente, como é o exemplo ilustrado na Figura 2 abaixo:

Figura 2: Diagrama Tempo, Temperatura e Transformação (TTT).



Fonte: <https://www.maximeferrum.com.br/aco-inox-martensitico.php>

Ademais, é importante pontuar que, para entender o motivo pelo qual os aços inoxidáveis resistem à corrosão, é necessário conhecer o que acontece quando os aços carbono comuns enferrujam: O ar que respiramos contém cerca de 21% de oxigênio, 78% de nitrogênio e, o restante, uma mistura de vapor de água e dióxido de carbono. Todos os metais reagem com o oxigênio e a água do ar, formando uma camada superficial de óxidos. Esta camada é porosa e permite posteriores penetrações de oxigênio e água. Dessa forma, a oxidação continua crescendo, produzindo a corrosão, que é comumente conhecida como ferrugem. A única maneira de prevenir este processo de corrosão no aço é proteger sua superfície (Gentil, 2012).

Partindo deste pressuposto, os aços martensíticos têm alta resistência, ideais para aplicações que requerem resistência ao desgaste ou à abrasão. No entanto, a martensita não é tão resistente à corrosão ou oxidação quanto outras fases do aço (como a austenita), por isso, é recomendado o tratamento desses aços para uso em ambientes altamente corrosivos (Chiaverini, 1986).

De modo geral, aços martensíticos estão divididos em dois subgrupos:

- **Aço martensítico de baixo carbono:** O aço martensítico de baixo carbono possui teor de carbono entre 0,05% a 0,25%. Versões com baixo teor de carbono do aço martensítico são mais fortes, oferecem maior resistência à corrosão e maior potencial de fabricação (Chiaverini, 1986).

- **Aço martensítico de alto carbono:** As ligas de alto carbono desse grupo geralmente tem teor de carbono entre 0,61% e 1,50%. Um maior teor de carbono torna o aço mais forte porque o

carbono fortalece a estrutura molecular. No entanto, também torna o metal mais frágil e não pode ser soldado ou moldado facilmente em outras formas (Chiaverini, 1986).

Paralelamente a isto, as principais ligas de aço inox martensítico são os AISI 410, 420 e 440, com destaque especial para o aço inox 420, uma liga bastante utilizada para diferentes aplicações industriais, já que é uma liga de aço inox martensítico com alto teor de carbono e pelo menos 12% de Cromo. Como outros aços martensíticos, possui alta dureza, capaz de ser endurecido por tratamento térmico até 50 HRC, a maior das durezas quando o assunto são aços com 12% de cromo. Apesar do alto teor de carbono, que lhe dá maior dureza, tem boa ductilidade na condição recozida e pode ser soldado - embora não com tanta facilidade (Vale, 2011).

Com isso, Callister (2002), ressalta que é importante destacar a soldabilidade dos aços inoxidáveis martensíticos que podem ser desafiadoras devido à sua alta dureza e tendência a formar martensita frágil na zona afetada pelo calor (ZAC). A escolha do metal de adição adequado é crucial para obter uma solda de qualidade e minimizar problemas como trincas e fragilidade. A seguir estão os metais de adição recomendados para diferentes processos de soldagem:

### **Soldagem MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas)**

Metais de Adição Recomendados:

- **ER410:** Usado para a maioria dos aços inoxidáveis martensíticos, como o AISI 410. Proporciona uma boa correspondência com a composição e as propriedades do metal base.
- **ER410NiMo:** Utilizado para aços martensíticos que contêm níquel e molibdênio (como o AISI 410 modificado). O níquel ajuda a aumentar a tenacidade da solda.
- **ER309L:** Este metal de adição é usado quando a ductilidade é mais crítica do que a correspondência de composição. É mais dúctil e reduz o risco de trincas, mas a solda resultante não será totalmente martensítica.

### **Soldagem TIG (Tungsten Inert Gas)**

Metais de Adição Recomendados:

- **ER410:** Similar ao processo MIG/MAG, o ER410 é usado para a maioria dos aços inoxidáveis martensíticos. Proporciona uma boa compatibilidade com a base martensítica.
- **ER410NiMo:** Usado quando é necessária uma maior tenacidade, especialmente em ligas de aço inoxidável martensítico contendo níquel e molibdênio.

- **ER308L ou ER309L**: Para maior ductilidade e menor **risco de trincas**, esses metais de adição são usados em situações em que uma maior tolerância a trincas é necessária. No entanto, eles produzem uma solda com uma microestrutura predominantemente austenítica.

### **Soldagem ER - Eletrodo Revestido**

Metais de Adição Recomendados:

- **E410**: O eletrodo mais comum para soldagem de aço inoxidável martensítico. Produz uma solda que combina bem com o metal base.

- **E410NiMo**: Recomendado para aços martensíticos contendo níquel e molibdênio, proporcionando maior tenacidade e resistência à corrosão.

- **E309L**: Pode ser usado para **reduzir a probabilidade de trincas** em juntas altamente suscetíveis, produzindo uma solda com uma microestrutura predominantemente austenítica.

Por fim, como considerações importantes, neste tipo de material é recomendado o pré-aquecimento antes da soldagem, pois pode ajudar a **reduzir o risco de trincas**, especialmente ao usar metais de adição correspondentes (como ER410 ou E410). A temperatura de pré-aquecimento geralmente varia entre 200°C e 300°C, dependendo da espessura e do tipo de aço (Caruso, 2004).

- Pós-tratamento térmico: Após a soldagem, o tratamento térmico (normalização ou revenimento) pode ser necessário para aliviar tensões e reduzir a fragilidade, especialmente se o metal de adição formar uma estrutura martensítica dura (Callister, 2002)

- Controle de Temperatura: Durante a soldagem, é importante controlar a temperatura entre passes para evitar o super aquecimento da peça, o que pode exacerbar a formação de martensita frágil.

Essas recomendações garantem a obtenção de uma solda resistente e com propriedades mecânicas adequadas para a aplicação do aço inoxidável martensítico (Callister, 2002).



### 3.1.2 – AÇOS AUSTENITICOS

Os aços inoxidáveis austeníticos são os mais comuns entre os aços inoxidáveis e são caracterizados pela resistência à corrosão considerável, elevada tenacidade, boa soldabilidade e é não magnético (Chiaverini, 1986).

A estrutura austenítica (CFC) é estabilizada à temperatura ambiente pela adição de Níquel (Ni) e outros estabilizadores dessa estrutura como o Manganês (Mn). Além disso, a sua estrutura os torna especialmente interessante para aplicações criogênicas, como para temperaturas elevadas, em função da resistência ao amolecimento e resistência à deformação a quente (Chiaverini, 1986).

A partir da adição de 8% de Ni, é possível obter uma estrutura completamente austenítica nesse sistema, ao menos em temperaturas elevadas. As composições básicas dos aços inoxidáveis austeníticos giram em torno de 18% de Cromo (Cr) e 8%Ni. Esses aços são normalmente tratados a 1050°C e resfriados rapidamente, preservando estrutura metaestáveis onde a fase sigma não aparece (Chiaverini, 1986).

Os austeníticos mais empregados certamente são dos tipos de aço 304 e 304L, já que evitam qualquer tipo de ferrugem em sua composição. O aço inoxidável austenítico 304L conta com propriedade ainda mais aprimoradas, que evitam corrosões intermetalicas. Esse tipo é recomendado, sobretudo, para fabricação de conjunto de soldas (Chiaverini, 1986).

Já os aços 316 e 316L contam com aplicações em sua composição que os tornam mais duráveis que os do tipo 304 e 304L. Também são amplamente utilizados na indústria, principalmente na fabricação de conjuntos soldados (Chiaverini, 1986).

Além dos austeníticos mencionados, existem outros tipos de aços inoxidáveis como o 302, 303, 308, 310, 314, 321, o 347, entre outros. Mesmo com ligeiras alterações em suas propriedades, cada austenítico conta com atribuições que se diferem entre si (Chiaverini, 1986).

De modo geral, as ligas de aços austeníticos estão englobadas nas classes de aços inoxidáveis das séries 200 e 300.

- **Série 200:** Aços austeníticos da série 200 contêm cromo (entre 16% e 18%) e níquel (entre 3,5% e 8%). Eles oferecem boa resistência à corrosão, porém não possuem a mesma resistência à corrosão e resistência mecânica que os aços da série 300. São usados principalmente em aplicações menos exigentes e mais econômicas (Chiaverini, 1986).

- **Série 300:** Já as ligas da série 300 são as mais comuns e amplamente utilizadas, contendo entre 16% e 30% de cromo e entre 6% e 20% de níquel. Os aços da série 300 oferecem excelente resistência à corrosão e são adequados para uma ampla variedade de aplicações em ambientes

corrosivos. Seus usos incluem instrumentos médicos, estruturas para ambientes críticos, joalheria, indústria automobilística, indústria de alimentos e bebidas, pias, panelas, acessórios para vidro, etc (Chiaverini, 1986).

A principal liga dentro desta classe é o aço inox 304, também conhecido como inox 18/8, devido sua composição química de 18% de cromo e 8% de níquel. Esse é um material amplamente utilizado em diferentes setores industriais, graças à sua versatilidade e alta resistência à corrosão (Chiaverini, 1986).

**Aço 304:** é uma liga de alta resistência contra corrosão. Utilizada principalmente na fabricação de itens para hospitais, indústrias químicas e farmacêuticas, entre outras. Esse tipo consegue evitar a ferrugem, cujas partículas podem alterar a composição dos produtos na hora da produção. Seu ponto de fusão é de 1450°C (Chiaverini, 1986).

**Aço 304L:** é uma versão aprimorada do aço anterior e por isso, pode ser usada nos mesmos locais. Entretanto, o aço 304L é indicado principalmente para evitar corrosões intercrystalinas, que ocorrem nos contornos do grão, também chamadas de corrosão intergranular (Chiaverini, 1986).

**Aço 316:** é ainda mais superior aos modelos anteriores, pois conta com molibdênio (um elemento químico que resiste à corrosão de maneira eficaz) em sua fórmula, podendo ser utilizado nos mesmos tipos de indústria (Chiaverini, 1986).

**Aço 316L:** é semelhante ao aço 316, mas possui baixo teor de carbono e devido a isso, é mais resistente contra a corrosão intercrystalina (Chiaverini, 1986).

A soldagem para aplicação naval TIG (GTAW) utiliza eletrodo de tungstênio não consumível, arame de aço inoxidável 304/316, com corrente contínua, (CC-), sendo o gás mais comum utilizado o argônio, realizando soldas em estruturas, tubulações e componentes críticos onde é necessária alta qualidade e precisão.

A soldagem MIG (GMAW) para aplicação naval utiliza arame de aço inoxidável 304/316 com corrente contínua, CC+, sendo o gás mais utilizado o argônio, realizando soldas em chapas, tubulações e estruturas de aço inoxidável, ideal para produção em série e trabalho rápido.

### 3.1.3- AÇOS FERRÍTICOS

Os aços ferríticos são ligas de Fe-Cr, de estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC). Seu conteúdo de cromo se situa na faixa de 11 a 30%. Alguns graus podem conter molibdênio, silício, alumínio, titânio e nióbio para a obtenção de certas características. Também

podem ser adicionados enxofre e selênio para melhoria da usinabilidade. São ferromagnéticos, podem possuir boas ductilidade e conformabilidade, mas suas características de resistência em altas temperaturas são ruins se comparadas à dos austeníticos. Sua tenacidade também pode ser limitada a baixas temperaturas e em seções pesadas. Não são endurecíveis por tratamento térmico e dificilmente por trabalho a frio (Callister, 2002).

Além disso, os aços inoxidáveis ferríticos são amplamente utilizados em diversas indústrias devido às suas propriedades únicas, que combinam resistência à corrosão, boa usinabilidade e adequação para aplicações em altas temperaturas. Esses aços pertencem às normas 430, 409 e 410S, cada uma com características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações (Callister, 2002).

Como é exemplificado por meio do aço 430 que é amplamente utilizado na fabricação de peças sujeitas a grandes variações de temperatura, como adornos de arquitetura e componentes para queimadura de óleo. Sua alta resistência à corrosão o torna ideal para esses usos. Para tanto, o aço 446, que oferece resistência a temperaturas ainda mais elevadas, é frequentemente aplicado em ambientes que exigem alta durabilidade térmica (Callister, 2002).

No âmbito de sua aplicabilidade, os aços inoxidáveis ferríticos são comumente aplicados em sistemas de exaustão de automóveis, recipientes de alimentos e trocadores de calor em tubulações que contenham soluções com cloretos e água do mar. Essas aplicações se beneficiam das propriedades magnéticas desses aços, bem como da sua resistência à corrosão e desempenho superior em ambientes oxidantes (Callister, 2002).

Entre as principais propriedades dos aços inoxidáveis ferríticos, destaca-se o fato de serem magnéticos e não endurecíveis por tratamento térmico, o que os diferencia dos aços austeníticos. Eles são soldáveis, mas apresentam tendência à fragilidade na zona soldada, a menos que sejam recozidos após a soldagem. Além disso, a resistência à corrosão e a excelente performance em ambientes oxidantes são vantagens que asseguram sua durabilidade e confiabilidade em diversas aplicações industriais (Callister, 2002).

Quando comparados aos aços austeníticos, os ferríticos se mostram mais econômicos e adequados para temperaturas moderadamente elevadas. Eles também são magnéticos e possuem elevada resistência à corrosão sob tensão, o que os torna uma opção preferível em determinadas aplicações, especialmente aquelas que exigem desempenho estável em condições desafiadoras. Além disso, embora os aços ferríticos sejam soldáveis, é necessário adotar alguns cuidados especiais para evitar fragilidades, o que pode incluir processos como o recozimento após a soldagem para garantir a integridade do material (Callister, 2002).

Essas características tornam os aços inoxidáveis ferríticos uma escolha versátil e eficiente para uma ampla gama de aplicações industriais, onde a combinação de resistência à corrosão, estabilidade térmica e custo-benefício é essencial. Autores na área de engenharia, como Callister e Rethwisch (2020), destacam a importância desses materiais na indústria moderna, especialmente em setores que demandam soluções que aliam desempenho técnico e sustentabilidade econômica. A versatilidade dos aços ferríticos continua a impulsionar inovações em design e fabricação, solidificando sua posição como um material de escolha para engenheiros e projetistas (Callister, 2002).

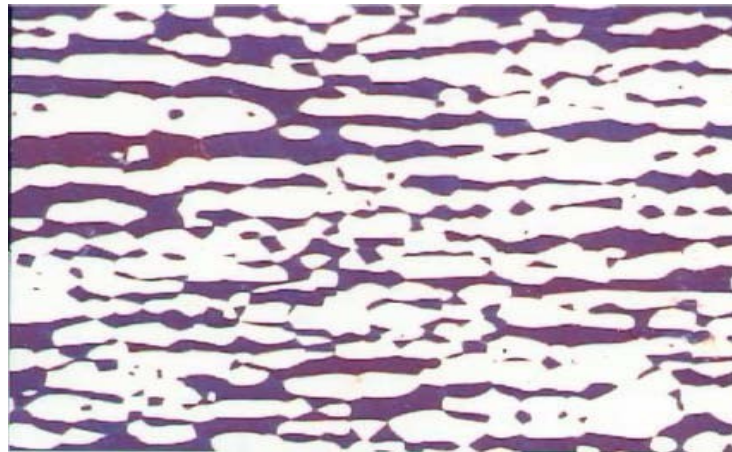
### **3.1.4 – AÇOS DUPLEX E SUPERDUPLEX**

Historicamente, os metalurgistas iniciaram o desenvolvimento do aço duplex nos anos 1927 a 1932. O balanceamento químico adequado faz com que ilhas de ferrita se formem em meio à microestrutura predominantemente austenítica, aumentando a resistência mecânica do produto e conservando a alta resistência a corrosão. Na década de 70 os duplex experimentaram rápido crescimento na indústria de petróleo e gás, papel e celulose e químico-petroquímica, resolvendo problemas como corrosão por pite e sob tensão, sendo estes responsáveis pelo maior número de falhas por corrosão dos aços inoxidáveis. Os duplex também possibilitaram o uso de construções mais leves face às suas melhores propriedades mecânicas (Metalinox, 2024).

No que diz respeito às suas características, os duplex podem ser definidos como aços bifásicos, de microestrutura composta de ferrita e austenita, sendo que cada uma destas fases possui teor de cromo superior ao necessário para garantir as propriedades características dos inoxidáveis, sendo que cada fase sempre se apresenta em volume apreciável em relação ao total da liga, diferentemente de ligas bifásicas onde um dos constituintes encontra-se sob a forma de pequenos precipitados (Chiaverini, 1986).

A microestrutura duplex, conforme Chiaverini (1986) é composta de aproximadamente 45 – 65% de austenita (parte mais clara) dispersa sob a forma de ilhas em uma matriz de ferrita (parte escura) 55 – 35%. A combinação das fases austenita e ferrita nos duplex conduz a uma série de propriedades otimizadas em relação às propriedades observadas para aços monofásicos com estrutura austenítica ou ferrítica, conforme ilustrado na Figura 3 abaixo:

Figura 3: Microestrutura duplex.



Fonte: Extraída do livro ASM Specialty Handbook: Stainless Steels pág. 455

A composição química, no final dos anos 80 e início dos anos 90, tinha o grande interesse de diferentes tipos de indústria pelos aços inoxidáveis duplex que culminou em um intenso desenvolvimento destes materiais, fazendo com que o número de ligas comercialmente disponíveis aumentasse, podemos então dividir os aços duplex em 3 tipos:

**-Aços inoxidáveis duplex de baixa liga:** devido ao menor teor de elementos de liga são materiais econômicos, não possuem molibdênio na composição química e podem substituir aços inoxidáveis austeníticos como TP304L e 316L (Metalinox, 2024).

**-Aços inoxidáveis duplex de média liga:** nesta família enquadram-se os duplex mais utilizados. Apresentam resistência à corrosão intermediária entre os austeníticos comuns TP304L/316L e ligas superausteníticas e aços inoxidáveis superduplex. Possuem amplo campo de aplicação em diversos segmentos industriais, em especial papel e celulose, química e petroquímica, além da indústria de petróleo e gás (Metalinox, 2024); e

**-Aços inoxidáveis duplex de alta liga:** aços super duplex. Recomendado para aplicações sujeitas a corrosão por “pite” e sob tensão em via úmida, na presença de cloretos e onde exige-se elevada resistência mecânica (Metalinox, 2024).

Deste modo, os aços duplex e super duplex são ligas Fe-Cr-Ni-Mo (conforme Figura 4), contendo até 0,30% em peso de nitrogênio na forma atômica, que apresentam microestruturas bifásicas compostas por uma matriz ferrítica e pela fase austenítica precipitada com morfologia arredondada e alongada.

Figura 4: Composição química dos aços duplex e superduplex.

NOME	TIPO DE AÇO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (Valores Típicos)					
		C	Cr	Ni	Mo	N	Cu
2304	duplex	0,015	23,0	4,0	0,055	0,13	-
2205	duplex	0,015	22,0	5,5	3,0	0,14	-
2205	duplex	0,015	22,5	5,5	3,3	0,17	-
255 (UR52N)	Super duplex	0,015	25,0	7,0	3-5	0,28	0,13
2507	Super duplex	0,015	25,0	7,0	4,5	0,28	0,3
Zeron 100	Super duplex	0,015	25,0	7,0	3,5	0,25	0,8

Fonte: <https://delarcosoldas.com.br/acos-duplex-com-alta-tenacidade-e-resistencia-a-corrosao/>

Sendo assim, conforme Chiaverini (1986) a diferença entre os aços inoxidáveis duplex e super duplex consiste principalmente nas concentrações de cromo, níquel, molibdênio e nitrogênio que essas ligas apresentam, sendo que alguns desses elementos interferem diretamente na resistência à corrosão por pite. Uma maneira de quantificar empiricamente essa propriedade química é através da resistência equivalente à corrosão por pite, ou PREn (pitting resistance equivalent). De acordo com a norma ASTM A890/A890m, essa grandeza pode ser calculada de acordo com a expressão:

$$\text{PREn} = \% \text{Cr} + (3,3 \times \% \text{Mo}) + (16 \times \% \text{N})$$

Quando o tungstênio está presente como uma liga, o cálculo PREn é modificado para:

$$\text{PREn} = \% \text{Cr} + 3,3 (\% \text{Mo} + 0,5 \times \% \text{W}) + (16 \times \% \text{N})$$

Os aços inoxidáveis bifásicos (ferrítico/austenítico) cujos valores do PREn forem da ordem de 35 a 39, constituem a família dos aços inoxidáveis duplex e aqueles que forem iguais ou superiores a 39, constituem a família dos inoxidáveis super duplex, considera-se que as ligas contendo as maiores quantidades de cromo, molibdênio e nitrogênio possuem melhor resistência à corrosão e gerarão uma maior PREn (Chiaverini, 1986).

Em relação a soldagem destes materiais, pode-se ser soldado conforme exemplificado na figura 4 abaixo. Assim sendo, em virtude de possuir muitos elementos de ligas deve-se manter o cuidado, com os ciclos térmicos, para que não haja mudanças de fases, logo, mudanças das propriedades, controlar o crescimento de grãos e controlar a quantidade relativamente elevada de

nitrogênio (N), que frequentemente causa problemas de porosidade, tais como bolhas, poros e porosidade alongada, bem como pobre remoção de escória (Chiaverini, 1986).

Figura 5. Processos de típicos de soldagem.

Grau	Processo de soldagem	Classificação AWS	Composições químicas [% em massa]									Propriedades mecânicas				Observações
			C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	N	PREW*1	FNW*2 [FN]	0.2%PS [MPa]	TS [MPa]	EI [%] (G.L.=4D)	vE0°C: [J]	
Aço inoxidável Standard Duplex	GTAW	A5.9/A5.9M ER2209	0.008	0.39	1.67	8.7	22.7	3.10	0.16	35.5	51	598	773	39	270	DCEN, 100%Ar
	SMAW	A5.4/A5.4M E2209-16	0.028	0.54	1.14	8.8	23.1	3.34	0.15	36.5	51	667	845	30	97	DCEP
	FCAW	A5.22/A5.22M E2209T1-1/-4	0.023	0.57	0.66	9.4	23.0	3.40	0.14	36.4	49	605	823	30	55	DCEP, 100%CO <sub>2</sub>
	FCAW	A5.22/A5.22M E2209T1-1/-4	0.028	0.61	0.74	9.1	22.7	3.30	0.13	35.6	46	639	820	28	73	DCEP, 80%Ar+20%CO <sub>2</sub>
	SAW	A5.9/A5.9M ER2209 (Wire)	0.021	0.31	1.56	8.9	23.0	3.28	0.15	35.9	57	618	798	29	69	DCEP
Aço inoxidável Super Duplex	GTAW	A5.9/A5.9M ER2594	0.019	0.44	0.57	9.3	25.0	3.82	0.28	42.0	42	721	870	31	286	DCEN, 98%Ar+2%N <sub>2</sub>
	SMAW	A5.4/A5.4M E2594-16	0.035	0.55	0.66	9.8	26.6	3.86	0.25	43.3	50	750	935	28	55	DCEP
	FCAW	A5.22/A5.22M E2594T1-1/-4	0.026	0.50	1.18	9.6	25.7	3.79	0.24	42.0	49	712	905	27	55	DCEP, 80%Ar+20%CO <sub>2</sub>

Fonte: <https://revistaft.com.br/soldagem-dos-acos-inoxidaveis-duplex/>

Dito isto, ainda discutindo sobre os processos de soldagem dos aços inoxidáveis duplex e superduplex, ambos podem ser soldados pela maioria dos processos de soldagem, tais como TIG, MIG, plasma, eletrodo revestido, arco submerso, resistência elétrica, feixe de elétrons entre outros (Chiaverini, 1986).

Sendo assim, destaca-se três técnicas de soldagem, exemplificadas nos parágrafos abaixo, que precisamos ter maior atenção com suas realizações práticas, pois, diferentemente das outras práticas de soldagem, elas podem ter maior probabilidade de contaminação de solda (Chiaverini, 1986):

- **Arco submerso (SAW):** Prevenção da trinca a quente em Também deve-se notar que os consumíveis de soldagem de aço inoxidável Duplex são mais suscetíveis a trinca a quente, é recomendado evitar a soldadura com abertura estreita, elevadas correntes e altas velocidades de soldadura. Tais condições de soldagem devem ser confirmadas completamente antes de efetuar a soldagem real (Chiaverini, 1986).

- **Soldagem com Eletrodo revestido:** Sempre deverá ser obedecido à amperagem indicada para cada diâmetro. E verificar a polaridade indicada em cada tipo de eletrodo (Chiaverini, 1986).

- **TIG(GTAW):** A soldagem TIG adota geralmente 100% de Ar (Argônio) como gás de proteção para soldagem de passe de raiz circunferencial dos tubos de aço inoxidável. No entanto, é recomendável adicionar cerca 2% de gás N<sub>2</sub> para o gás de proteção, dependendo do teor de N no metal de solda e/ou no metal de base para aços inoxidáveis duplex (Chiaverini, 1986).

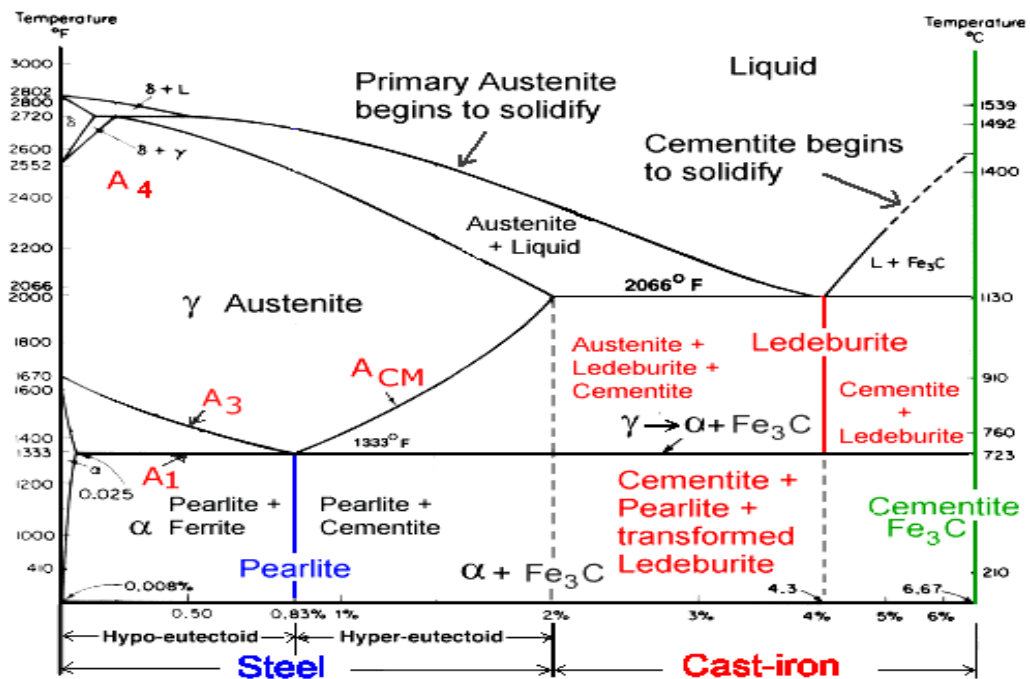
É importante pontuar também que, a soldagem desses tipos de aços requer cuidados quanto ao superaquecimento, aporte de calor, temperatura entrepasses não superior a 150 °C, velocidade de resfriamento, pois quando aquecidos e posteriormente resfriados, formam precipitados, que interferem diretamente na resistência do material soldado, especialmente nos testes de impacto (Chiaverini, 1986).

### **3.1.5 – FERRO FUNDIDO**

O ferro fundido é uma liga metálica composta por ferro, carbono e silício, formando uma mistura eutética. Sua composição típica inclui entre 2,11% e 6,67% de carbono e de 1% a 4% de silício, podendo ainda conter outros elementos, como manganês, enxofre e fósforo, que influenciam suas propriedades mecânicas e sua resistência à corrosão. O ferro fundido é conhecido por sua baixa maleabilidade, alta resistência à compressão e excelente capacidade de moldagem, tornando-o amplamente utilizado na fabricação de componentes estruturais, como blocos de motor e tubos. A principal diferença entre o ferro fundido e o aço é a concentração de carbono. Enquanto o ferro fundido apresenta uma alta quantidade de carbono (acima de 2,11%), o aço é uma liga de ferro-carbono com teores de carbono variando entre 0,008% e 2,11%. O aço, devido à menor quantidade de carbono, é mais maleável e dúctil, o que facilita sua deformação e processamento em uma ampla variedade de formas e aplicações (Colpaert, 1974).



Figura 6: Diagrama Ferro-Carbono e a formação do Ferro Fundido



Fonte: [https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap\\_9/backbone/r9\\_5\\_1.html](https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_9/backbone/r9_5_1.html)

Assim sendo, os ferros fundidos dividem-se em três tipos principais: branco, cinzento e nodular.

**Ferro fundido cinzento:** Entre os ferros fundidos, o cinzento é o mais comum devido às suas características únicas, como baixo custo de produção — em grande parte fabricado a partir de sucata reciclada. Este material destaca-se pela elevada usinabilidade, proporcionada pela presença de grafita em flocos na sua microestrutura, o que reduz o desgaste das ferramentas de corte. Além disso, o ferro fundido cinzento possui alta fluidez durante o processo de fundição, o que facilita a produção de peças com paredes finas e geometrias complexas. Outra vantagem é a facilidade de fabricação, já que sua fusão e solidificação não exigem equipamentos sofisticados ou controles rigorosos, tornando-o ideal para aplicações em larga escala (Copaelt, 1974).

Devido às suas características mecânicas e à sua capacidade de absorver vibrações, o ferro fundido cinzento é amplamente utilizado na indústria de máquinas e equipamentos, incluindo motores, blocos de cilindros, carcaças e estruturas de máquinas-ferramenta. Na indústria automobilística, ferroviária, naval e em outros setores, é valorizado por sua resistência à

compressão, estabilidade dimensional e capacidade de dissipar calor, o que aumenta sua durabilidade em condições severas de operação (Chiaverini, 1986).

Com relação a microestrutura do ferro fundido cinzento apresenta veios de matriz metálica que podem conter diferentes proporções de perlita e cementita, como mostrado na Figura 7 abaixo. Essas variações na microestrutura afetam diretamente suas propriedades mecânicas, como dureza e resistência ao desgaste. Embora o ferro fundido cinzento seja mais comumente utilizado no estado bruto de fundição, ele também pode ser submetido a tratamentos térmicos específicos, como normalização ou recozimento, para ajustar suas propriedades. Tratamentos térmicos localizados podem ser aplicados para endurecimento de áreas específicas, ampliando as aplicações do material sem comprometer sua usinabilidade. Essas características fazem do ferro fundido cinzento uma escolha versátil e econômica para uma ampla gama de componentes industriais (Chiaverini, 1986).

**Ferro fundido branco:** Ele é caracterizado por uma microestrutura que se forma devido a uma taxa de resfriamento mais alta durante o processo de solidificação. Ao contrário do ferro fundido cinzento, o ferro fundido branco não contém grafita livre em sua microestrutura; em vez disso, o carbono está presente na forma de cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), como ilustrado na Figura 8 abaixo. Essa estrutura resulta em uma liga com elevada dureza e excelente resistência à abrasão, tornando-o ideal para aplicações onde essas propriedades são essenciais. No entanto, essas mesmas características fazem com que o ferro fundido branco seja extremamente frágil, com baixa ductilidade e praticamente impossível de usinar usando métodos convencionais.

Devido à sua alta dureza, o ferro fundido branco é comumente utilizado em componentes que requerem resistência ao desgaste em ambientes severos, como equipamentos de moagem de minérios, pás de escavadeiras, cilindros de laminadores e revestimentos de britadores. A falta de usinabilidade significa que as peças de ferro fundido branco devem ser fundidas diretamente nas formas finais ou muito próximas delas, e qualquer ajuste posterior deve ser feito através de processos abrasivos que removem o mínimo de material possível.

**Ferro fundido nodular:** O ferro fundido nodular (Figura 9), também conhecido como ferro fundido dúctil, é uma classe de ferro fundido na qual o carbono, em vez de se apresentar em flocos como no ferro fundido cinzento, assumir a forma de esferas ou nódulos de grafite dispersos pela matriz metálica, juntamente com a cementita e outros constituintes. Esse formato esferoidal do grafite reduz significativamente os pontos de concentração de tensão na microestrutura, conferindo ao material uma ductilidade consideravelmente superior em comparação com outros tipos de ferro

fundido. Isso aproxima suas propriedades mecânicas do aço, especialmente no que diz respeito à resistência ao impacto, à tração e à deformação (Chiaverini, 1986).

Além de melhorar a ductilidade, a presença dos nódulos de grafite mantém as características de boa usinabilidade do material, facilitando processos de corte e moldagem. O ferro fundido nodular também possui razoável estabilidade dimensional, o que é importante em aplicações que excluem precisão nas formas e dimensões, mesmo após exposições a variações de temperatura (Chiaverini, 1986) (Chiaverini, 1986).

Devido à sua microestrutura mais controlada e a necessidade de maior precisão nas faixas de composição química — que incluem adições de elementos como magnésio e cério para promover a formação de grafite esferoidal — o custo de produção do ferro fundido nodular é mínimo mais elevado do que o do do grafite esferoidal ferro fundido cinzento. No entanto, esse investimento adicional é justificado pela melhoria nas propriedades mecânicas, que tornam o ferro fundido nodular ideal para componentes que ativam maior resistência ao impacto e à tração, características que os ferros fundidos cinzentos comuns não apresentam à temperatura ambiente (Chiaverini, 1986).

Na indústria, o ferro fundido nodular é extremamente utilizado na fabricação de peças que necessitam de boa resistência à fadiga, maior durabilidade e tolerância a choques mecânicos. Exemplos de aplicações incluem engrenagens, eixos, bielas, corpos de válvulas, blocos de motor, suportes estruturais e carcaças de bombas. Além disso, o ferro fundido nodular é preferido para componentes que devem operar sob condições de carga cíclica ou ambientes corrosivos, como tubulações de esgoto e água, devido à sua resistência ao desgaste e à corrosão (Chiaverini, 1986).

**Ferro Fundido Maleável:** O processo de obtenção do ferro fundido maleável, Figura 10, começa com a produção de ferro fundido branco. A peça de ferro branco é então submetida a um tratamento térmico conhecido como maleabilização. As propriedades resultantes dessa microestrutura conferem ao ferro fundido maleável maior tenacidade e capacidade de absorver impactos, ao mesmo tempo em que mantêm boa resistência à fadiga. Essas características são essenciais em componentes sujeitos a ciclos de carga ou que precisam suportar choques mecânicos as aplicações do ferro fundido maleável são amplas e incluem peças que necessitam de boa resistência mecânica, mas que também exigem alguma flexibilidade para evitar rupturas. Exemplos incluem conexões para tubulações (como joelhos, curvas e Tês), sapatas de freios, caixas de engrenagens, cubos de rodas, bielas, alças de caixões, suportes estruturais e até mesmo pequenos componentes de maquinário. A combinação de boa resistência à tração, ductilidade e usinabilidade

torna o ferro fundido maleável uma escolha versátil para peças que desabilitam tanto além disso, o ferro fundido maleável apresenta um desempenho estável em ambientes com alta pressão e temperaturas moderadas, tornando-o adequado para uso em sistemas de tubulações pressurizadas e peças de máquinas sujeitas a vibrações e esforços (Chiaverini, 1986).

Com relação a soldabilidade, os ferros fundidos apresentam inúmeras peculiaridades; sabendo que o ferro fundido é uma liga metálica de Ferro, Carbono, e Silício, e encontramos um alto teor de carbono (2,11% a 6,7%), além de outros elementos de liga; e que a dificuldade de soldagem é diretamente proporcional ao teor de carbono na estrutura da liga, já que existe uma ligação direta entre a dureza do material e seu endurecimento por resfriamento após a soldagem, o ferro fundido se torna um dos materiais que não apresentam um elevado índice de soldabilidade (Chiaverini, 1986).

#### **Soldagem de Ferro Fundido com SMAW (MMA):**

Para soldar ferro fundido com SMAW, o tipo de eletrodo a ser utilizado deve ser escolhido com cuidado. Os eletrodos recomendados, conforme Chiaverini (1986), para a soldagem de ferro fundido são:

**Eletrodos de Níquel (Eletrodos Ni-Fe):** Eletrodos com revestimento de níquel, como os Eletrodos Ni-Fe, são frequentemente usados. Esses eletrodos possuem uma boa compatibilidade com o ferro fundido e ajudam a reduzir a formação de trincas na solda.

**Eletrodos de Ferro Fundido:** Existem eletrodos específicos para ferro fundido, como os que possuem um revestimento especial para esse tipo de material.

#### **Soldagem com Eletrodo de Aço Inoxidável no Processo SMAW**

Para soldar ferro fundido com eletrodos de aço inoxidável no processo SMAW, recomenda-se utilizar eletrodos de aço inoxidável que contenham uma quantidade adequada de níquel. Esses eletrodos são adequados devido à sua boa compatibilidade com o ferro fundido e sua capacidade de minimizar a formação de trincas (Chiaverini, 1986).

### **Eletrodos Recomendados:**

**Eletrodos de Aço Inoxidável Tipo 308L:** Embora normalmente usados para aço inoxidável, também podem ser utilizados para soldar ferro fundido, proporcionando uma boa fusão e resistência (Chiaverini, 1986).

**Eletrodos de Aço Inoxidável Tipo 309L:** Este tipo é mais adequado quando se deseja uma solda que tenha boa adesão e resistência a fissuras, já que o tipo 309L é formulado para unir materiais diferentes, como ferro fundido e aço inoxidável (Chiaverini, 1986).

### **Preparação da Peça:**

**Aquecimento:** Embora o aquecimento prévio não seja sempre necessário, pode ser benéfico, especialmente para peças grandes ou com espessura significativa. O aquecimento ajuda a reduzir a diferença de temperatura entre a área soldada e o restante da peça, minimizando a formação de trincas. Geralmente, o aquecimento prévio é feito a cerca de 200°C a 300°C (Chiaverini, 1986).

**Preparação da Superfície:** A área a ser soldada deve ser limpa de qualquer sujeira, ferrugem, óleo ou outros contaminantes. É aconselhável remover a camada superficial do ferro fundido, pois esta pode ser mais suscetível a defeitos e dificuldades na soldagem (Chiaverini, 1986).

### **Procedimento de Soldagem:**

**Controle de Temperatura:** Mantenha um controle adequado da temperatura durante a soldagem para evitar o superaquecimento, que pode causar distorção ou trincas.

**Tratamento térmico:** Após a soldagem, é importante resfriar lentamente a peça para minimizar o risco de trincas. O resfriamento lento pode ser feito com o uso de cobertores térmicos ou outros métodos que ajudem a controlar a taxa de resfriamento.

### **Soldagem de Ferro Fundido com GTAW (TIG):**

#### **- Vantagens:**

- Oferece maior controle sobre o calor, permitindo uma soldagem mais precisa.
- Menor risco de inclusão de contaminantes no cordão de solda.
- Ideal para pequenas reparações e soldas onde o acabamento é crucial.

#### **- Desafios:**

- Ferro fundido é propenso a trincas devido à sua baixa ductilidade e alta quantidade de carbono.

- A necessidade de pré-aquecimento (geralmente entre 200°C a 600°C) para reduzir o risco de trincas.

- Resfriamento controlado após a soldagem é essencial para evitar a formação de trincas.

**- Recomendação:**

- Usar varetas de níquel puro ou de ligas de níquel, que são mais compatíveis com o ferro fundido e oferecem boas propriedades de soldagem.

- Também é possível usar varetas de bronze com algumas aplicações específicas, especialmente para reparos menores.

No processo TIG, você pode utilizar materiais de adição de aço inoxidável para soldar ferro fundido. O material de adição é frequentemente um arame de aço inoxidável, que deve ser compatível com o tipo de aço inoxidável usado no eletrodo. Para ferro fundido, arames com composição semelhante ao aço inoxidável 308L ou 309L são recomendados.

**Soldagem de Ferro Fundido com GMAW (MIG/MAG):**

**- Vantagens:**

- Processo mais rápido e eficiente, ideal para soldagens em produção.

- Menor custo de operação comparado ao GTAW.

**- Desafios:**

- Como no GTAW, o ferro fundido é propenso a trincas, e o controle térmico é crucial.

- Pode ser mais difícil controlar a penetração da solda e evitar inclusões.

- Requer também pré-aquecimento e resfriamento controlado.

**- Recomendação:**

- Utilizar arames de solda de níquel, especialmente arames de níquel puro ou de ligas de níquel.

- Outra opção são arames de aço inoxidável, dependendo da aplicação e do tipo de ferro fundido.

- Manter a peça a uma temperatura constante durante o processo para evitar a formação de trincas.

No processo MIG/MAG, também é possível soldar ferro fundido utilizando arame de aço inoxidável como material de adição. Novamente, arames com composição semelhante ao aço inoxidável 308L ou 309L são opções viáveis.

### **Pré-resfriamento**

**Redução de Tensões Térmicas:** O ferro fundido tem baixa ductilidade e é mais suscetível a rachaduras quando submetido a variações térmicas bruscas. O pré-resfriamento, que consiste em aquecer a peça antes da soldagem (geralmente entre 150°C a 300°C), ajuda a minimizar essas tensões ao reduzir a diferença de temperatura entre a área soldada e o restante da peça.

**Evitar Rachaduras:** Como o ferro fundido possui uma estrutura cristalina que não suporta bem o estresse térmico, o pré-resfriamento ajuda a distribuir uniformemente o calor, evitando a formação de trincas ou fissuras durante a soldagem.

**Facilita a Soldagem:** Ao pré-aquecer a peça, o processo de fusão e união do material torna-se mais uniforme, melhorando a penetração do calor e, conseqüentemente, a qualidade da solda (Chiaverini, 1986).

### **Pós-resfriamento**

**Controle de Resfriamento Gradual:** Após a soldagem, o ferro fundido deve ser resfriado de maneira controlada para evitar tensões residuais que podem levar a rachaduras. O pós-resfriamento, que pode ser feito em um forno ou com a aplicação de materiais isolantes, permite um resfriamento mais lento e uniforme.

**Relaxamento das Tensões:** O resfriamento lento permite que as tensões internas causadas pela soldagem sejam aliviadas gradualmente, reduzindo o risco de falhas estruturais futuras.

**Melhora das Propriedades Mecânicas:** Um resfriamento controlado evita a formação de estruturas frágeis no material, como a martensita, que pode ocorrer se o ferro fundido for resfriado muito rapidamente (Chiaverini, 1986).

## **Importância do Níquel na soldabilidade em Ferros fundidos:**

O uso de materiais de adição contendo níquel na soldagem de ferros fundidos é altamente recomendável por várias razões químicas e metalúrgicas que ajudam a mitigar os problemas característicos do ferro fundido, como a propensão a trincas e a fragilidade:

### **Redução da Formação de Carbonetos**

**Ferro Fundido:** É rico em carbono, que geralmente está presente na forma de grafita ou carbonetos. Durante a soldagem, esse carbono pode se combinar com o ferro, formando carbonetos de ferro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), que são extremamente duros e frágeis, resultando em soldas quebradiças.

**Níquel:** O níquel é um elemento austenitizante que promove a formação de austenita em vez de ferrita durante o resfriamento da solda. A austenita é uma fase mais dúctil e menos propensa a formar carbonetos duros, o que melhora a tenacidade da solda.

### **Compatibilidade Térmica**

**Dilatação Térmica:** O níquel tem um coeficiente de dilatação térmica semelhante ao do ferro fundido, o que reduz as tensões térmicas durante o resfriamento da solda. Isso é crucial para evitar trincas, que são comuns no ferro fundido devido às tensões internas geradas pelas diferenças de contração durante o resfriamento.

### **Melhora na Ductilidade**

**Ductilidade:** Ferro fundido geralmente tem baixa ductilidade devido ao alto teor de carbono. O níquel, ao ser incorporado na matriz metálica, melhora a ductilidade da solda, o que a torna menos suscetível a trincas e falhas sob tensão.

### **Resistência à Corrosão**

**Propriedades Anticorrosivas:** O níquel também melhora a resistência à corrosão da solda, o que é um benefício adicional em ambientes agressivos.



### **Menor Formação de Grafite**

Estabilização da Matriz: O níquel tende a estabilizar a matriz austenítica e, dependendo da quantidade, pode minimizar a formação excessiva de grafite durante o resfriamento, o que pode ser desejável em determinadas aplicações, evitando a fragilização da solda.

### **Compatibilidade Metalúrgica**

Fusão e Mistura: O níquel funde a uma temperatura relativamente baixa e mistura-se bem com o ferro fundido, criando uma zona fundida mais homogênea. Isso contribui para uma solda mais estável e com propriedades mecânicas superiores.

### **Apropriado para Reparos**

**Versatilidade: Materiais de adição à base de níquel são adequados para soldagem de diversos tipos de ferro fundido, incluindo ferro fundido cinzento, nodular e maleável. A versatilidade do níquel o torna ideal para reparos, onde a consistência e a confiabilidade da solda são essenciais.**

### **3.1.6 – AÇO HY 80**

Desenvolvido inicialmente para o programa nuclear americano, o aço HY-80 foi projetado especificamente para a construção de cascos de pressão e, posteriormente, expandiu-se para diversas aplicações navais. Este aço de baixa liga é altamente valorizado por sua elevada resistência mecânica e rendimento, além de possuir uma excelente relação entre resistência e peso, características que o tornam ideal para uso em ambientes marítimos rigorosos (Chiaverini, 1986).

#### **Composição Química:**

O HY-80 possui uma composição química específica que contribui para suas propriedades de alta resistência. Sua composição inclui:

- Carbono (C): 0,13 a 0,18%
- Manganês (Mn): 0,1 a 0,4%
- Fósforo (P): 0,015%
- Enxofre (S): 0,008%
- Silício (Si): 0,15 a 0,38%

- Níquel (Ni): 2,5 a 3,5%
- Cromo (Cr): 1,4 a 1,8%
- Molibdênio (Mo): 0,035 a 0,06%
- Cobre (Cu): 0,25%
- Vanádio (V): 0,03%
- Titânio (Ti): 0,02%
- Ferro (Fe): Restante da composição.

### **Propriedades:**

O aço HY-80 é conhecido por apresentar:

- Alta resistência mecânica;
- Elevada resistência à corrosão, essencial em ambientes marítimos;
- Excelente soldabilidade, que facilita sua aplicação em grandes estruturas;
- Alta resistência ao impacto;
- Boa ductilidade, permitindo deformação sem fratura;
- Excelente tenacidade, o que melhora sua resistência sob condições extremas.

### • **Formatos:**

O aço HY-80 é comercializado em diversos formatos, incluindo:

- Chapas e placas;
- Barras;
- Bobinas.

### **Processo de Soldagem:**

O HY-80 possui excelentes características de soldabilidade. Ele pode ser eficientemente aquecido utilizando o processo de soldagem por arco metálico com elétrodos de baixo hidrogênio. Na maioria dos casos, não é necessário pré-aquecimento, exceto para perfis pesados. Além disso, o pós-aquecimento geralmente não é requerido, simplificando o processo de fabricação.

- **Soldagem a arco submerso (SAW)**

**Corrente:** Corrente contínua (CC), polaridade direta (CCPD) ou polaridade indireta (CCPI) dependendo das especificações do processo;

**Especificações:** Utilização de arames de solda e fluxos desenvolvidos especificamente para a compatibilidade com o aço HY-80;

**Aplicações:** Ideal para soldagem de chapas de alta espessura em ambientes controlados, alta taxa de deposição e penetração.

- **Soldagem a arco com eletrodo revestido (SMAW)**

**Corrente:** Corrente contínua (CC), polaridade inversa (CCPI);

**Especificações:** Eletrodo de baixo hidrogênio; (revestimento tipo básico)

**Aplicações:** Usado para reparos ou em campo, onde a portabilidade e a flexibilidade do processo são essenciais.

- **Soldagem metal inerte gás (MIG)**

**Corrente:** corrente contínua (CC), polaridade inversa (CCPI);

**Aplicações:** Soldagem de chapas finas e medias, ou em situações que exigem bom acabamento.

- **Soldagem TIG**

**Corrente:** Corrente contínua (CC), polaridade direta (CCPD);

**Especificações:** ER100S-G ou ER110S-G, com gás de proteção argônio puro.

**Aplicações:** Solda de alta qualidade, utilizado em juntas críticas ou para pequenos reparos onde o controle do calor é essencial.

**Tratamento Térmico:**

O aço HY-80 é fornecido em condições temperadas e revenidas, dispensando tratamento térmico adicional. No entanto, caso seja necessário, o material pode ser aquecido a uma temperatura de 649°C (1200°F) por uma hora, seguido de resfriamento lento no forno e resfriamento ao ar.

**Principais Aplicações:**

**O HY-80 é amplamente utilizado na construção naval, sendo especialmente adequado para placas de casco soldadas de submarinos, onde suas propriedades de resistência, tenacidade e resistência à corrosão são essenciais para garantir a segurança e longevidade das estruturas marítimas.**

### 3.2 – BRONZE

O bronze é uma das ligas metálicas mais versáteis e amplamente utilizadas em aplicações industriais. Composto principalmente de cobre e estanho, também pode ser produzido a partir da combinação de outros metais, como chumbo e zinco, o que contribui para sua alta resistência à corrosão e durabilidade. Este material, é extremamente flexível, podendo ser reaproveitado em diversas aplicações, uma característica que o diferencia de ligas como as de ferro e cobre. Com um ponto de fusão variando entre 900°C e 1000°C, o bronze é resistente ao atrito e pode ser comercializado em várias formas, adaptando-se a diferentes necessidades industriais (Chiaverini, 1986).

Existem diversas ligas de bronze, cada uma com propriedades específicas que as tornam adequadas para diferentes usos.

- **bronze industrial:** é uma liga de cobre e estanho com média resistência e boas propriedades de fricção, sendo comumente utilizado em anéis, materiais hidráulicos e elementos de acoplamento. Essa liga, também conhecida como TM23, é ideal para peças pequenas que operam em baixas velocidades e pressões (Chiaverini, 1986).

- **bronze alumínio:** o alumínio é adicionado ao cobre, destaca-se por sua alta resistência à corrosão, incluindo em ambientes marinhos. Esta liga possui efeitos biostáticos, o que impede a colonização por organismos marinhos, tornando-a ideal para a fabricação de motores e hélices de navios, além de outras aplicações navais. O bronze alumínio também é amplamente utilizado na indústria de joias, em trens de pouso de aviões, em estruturas de construção, e em indústrias petrolíferas e petroquímicas. Além disso, este tipo de bronze é utilizado na confecção de moedas e em materiais anticorrosivos especiais (Chiaverini, 1986).

- **bronze grafitado:** também conhecido como bronze auto lubrificante. Este material é poroso e possui uma consistência anti-fricção, sendo amplamente aplicado em mancais autolubrificantes, buchas deslizantes e materiais rodantes. A indústria naval, automotiva e de eletrodomésticos se beneficia particularmente deste tipo de bronze, que não requer lubrificação adicional, simplificando a manutenção e aumentando a durabilidade dos componentes (Chiaverini, 1986).

Neste sentido, a partir das constatações citadas acima evidenciamos que as aplicações do bronze são variadas, abrangendo desde o setor naval, onde sua resistência à corrosão é altamente valorizada, até o campo das artes, onde o bronze é apreciado por seu tom dourado opaco, ideal para esculturas e instrumentos musicais como sinos e pratos. No setor elétrico, certas ligas de bronze são

preferidas por sua excelente condutividade elétrica, sendo utilizadas em conectores e molas (Chiaverini, 1986).

Entre as vantagens do bronze, destaca-se seu aumento de dureza e tenacidade, o que lhe confere resistência ao risco e à deformação mecânica. O bronze também possui alta ductilidade, permitindo que seja transformado em fios, além de ser um excelente condutor de calor e eletricidade. Sua capacidade de acabamento é notável, permitindo que seja facilmente polido para aplicações estéticas e funcionais (Chiaverini, 1986).

No que se refere à soldagem, o bronze pode ser trabalhado utilizando o processo TIG (Tungstênio Inerte Gás), que envolve o uso de consumíveis específicos para diferentes ligas de bronze. Por exemplo, o ERCuAl-A1 é indicado para soldagem de ligas de bronze alumínio, enquanto o ERCuSn-A é utilizado para ligas de bronze estanho. Já o ERCuSi-A é destinado principalmente à soldagem de ligas de bronze silício. O processo TIG requer equipamentos como fonte de alimentação, tocha TIG, eletrodo de tungstênio e gás inerte para proteger as partes fundidas da contaminação atmosférica (Chiaverini, 1986).

As soldas de ligas à base de cobre, como o bronze, são reconhecidas por sua excelente resistência à corrosão, alta condutividade elétrica e boa ductilidade. Com um controle preciso do processo, é possível minimizar a zona afetada pelo calor, resultando em cordões de solda de alta qualidade e durabilidade. Essas características fazem do bronze uma escolha confiável e eficiente para uma ampla gama de aplicações industriais e artísticas, onde a combinação de resistência, flexibilidade e condutividade é essencial (Chiaverini, 1986).

### **3.3 – LATÃO**

O latão é uma liga metálica amplamente utilizada em diversas indústrias devido às suas propriedades físicas e mecânicas notáveis. Composto principalmente de cobre (Cu) e zinco (Zn), o latão possui um brilho intenso que se assemelha ao do ouro, tornando-o um material esteticamente atraente para várias aplicações. Dependendo da proporção desses dois elementos, que varia entre 55% e 95% de cobre e 5% a 45% de zinco, as propriedades do latão podem ser ajustadas para atender a diferentes necessidades industriais (Chiaverini, 1986).

Ademais, a versatilidade do latão se reflete em sua ampla gama de aplicações. Na arquitetura, ele é utilizado para a fabricação de grades, torneiras, misturadores e objetos decorativos, valorizando tanto a funcionalidade quanto a estética. Além disso, no setor elétrico, o latão é encontrado em refletores, soquetes, componentes e interruptores, onde sua alta condutibilidade elétrica e resistência à corrosão são essenciais. Em ferragens, o latão é usado na

produção de parafusos, correntes, dobradiças, fechaduras, rodapés e arames, destacando-se por sua resistência mecânica (Chiaverini, 1986).

No campo da mecânica, o latão é empregado na fabricação de tanques de radiadores, rodas para carros, tubos e aletas, válvulas, molas e peças usinadas, devido à sua durabilidade e resistência à fadiga. Além disso, sua alta ductilidade e capacidade de ser moldado em formas complexas o tornam um material popular na moda e nas artes, sendo utilizado na produção de bijuterias, joias e instrumentos musicais. O latão também encontra aplicação na medicina, onde é usado na confecção de instrumentos médicos e odontológicos, e em utensílios domésticos como tachos e painéis. Outras áreas, como a fabricação de armamentos e moedas, também se beneficiam das propriedades únicas dessa liga (Chiaverini, 1986).

Entre as principais vantagens do latão estão sua alta ductilidade, que permite que ele seja facilmente trabalhado em fios e outras formas; sua alta condutibilidade térmica e elétrica, que o torna ideal para aplicações elétricas e de transferência de calor; e seu alto custo-benefício, que o posiciona como uma escolha econômica em comparação com outras ligas metálicas. Além disso, o latão possui alta resistência à corrosão e à oxidação, o que prolonga sua vida útil, especialmente em ambientes adversos, e alta resistência mecânica, conferindo-lhe a capacidade de suportar cargas pesadas e esforços mecânicos significativos (Chiaverini, 1986).

Nesse aspecto, as ligas de latão, como a C27200 e a C36000, são projetadas para aplicações específicas. A liga C27200, também conhecida como fio máquina 63/37, é composta por 63% de cobre e 37% de zinco, e é especialmente adequada para a fabricação de tubos sem costura, que são essenciais para o transporte de materiais sob pressão, devido à sua boa conformabilidade e soldabilidade. Por outro lado, a liga C36000, conhecida como corte americano, destaca-se por sua alta resistência mecânica, superando até mesmo o desempenho do cobre puro. Esta liga é ideal para a produção de vergalhões e barras que serão transformados em tornos, arruelas, mancais e outras peças móveis (Chiaverini, 1986).

Por conseguinte, um outro material é o latão Forja 377 é outra liga notável, conhecida por sua alta resistência à fadiga superficial, à corrosão e ao desgaste. Deste modo, para garantir sua durabilidade e eficiência, é essencial que o material seja bem lubrificado. Suas principais aplicações incluem a confecção de mancais e coroas, onde essas propriedades são altamente valorizadas (Chiaverini, 1986).

No que diz respeito ao processo de soldagem, o latão pode ser unido por brasagem, um método que envolve o uso de uma vareta de solda de latão, como a RBCuZn-A, que contém cobre, zinco, silício e estanho. Nesse processo, apenas o metal de adição é fundido, preenchendo as

junções por efeito capilar em um ambiente controlado quanto à atmosfera e temperatura. A brasagem com a vareta de latão é frequentemente classificada como "solda forte" devido à alta resistência das uniões resultantes. Para realizar essa solda, utiliza-se uma tocha oxiacetileno com chama oxidante, que aquece as peças a uma temperatura inferior ao ponto de fusão do material, mas acima de 450°C, garantindo forças de aderência metálica eficientes sem participação capilar (Chiaverini, 1986).

Essas características tornam o latão um material altamente valorizado e amplamente aplicado em uma variedade de indústrias, desde a construção e engenharia até a moda e as artes, onde sua combinação de estética, durabilidade e funcionalidade é essencial (Chiaverini, 1986).

### **3.4 – CUPRONÍQUEL (Cu-Ni)**

O cuproníquel é uma liga metálica composta predominantemente de cobre e níquel, contendo até 30% de níquel, conhecida por sua excelente resistência à corrosão, especialmente em ambientes marinhos, e por suas propriedades antimicrobianas. Essas características fazem do cuproníquel um material amplamente utilizado em diversas indústrias, incluindo a naval, a manufatura de moedas e a produção de equipamentos que exigem alta durabilidade (Chiaverini, 1986).

O cobre, um dos componentes principais do cuproníquel, é altamente valorizado por sua resistência à corrosão, maleabilidade, ductilidade e excelente condutividade elétrica. Além disso, o cobre possui propriedades antibacterianas, o que aumenta ainda mais o valor do cuproníquel em aplicações que exigem higiene e segurança. O níquel, por sua vez, contribui para a liga com sua capacidade de resistir a temperaturas extremas sem perder suas propriedades mecânicas e físicas, além de também proporcionar alta resistência à corrosão (Chiaverini, 1986).

Entre as principais propriedades do cuproníquel estão a elevada resistência à corrosão, particularmente em água do mar, a boa resistência à fadiga, a longa vida útil, a ação antibacteriana e a excelente maleabilidade. Essas propriedades tornam o cuproníquel uma escolha ideal para aplicações que requerem durabilidade e resistência a ambientes agressivos. Além disso, o cuproníquel apresenta boa condutividade elétrica e térmica, o que o torna útil em componentes que exigem transferência eficiente de calor e eletricidade. Outro aspecto positivo é a reciclabilidade do cuproníquel, permitindo que ele seja reutilizado sem perda significativa de qualidade (Chiaverini, 1986).

Entre as vantagens do cuproníquel, destacam-se sua alta resistência à corrosão, especialmente em ambientes marinhos, o que o torna ideal para componentes navais como eixos,

hélices, tubulações e sistemas de resfriamento. A durabilidade do cuproníquel também é notável, proporcionando boa resistência ao desgaste e à abrasão, o que prolonga a vida útil de produtos fabricados com essa liga. Além disso, as propriedades antimicrobianas do cuproníquel são valiosas em aplicações que envolvem contato com água potável ou superfícies de contato. A facilidade de maquinabilidade do cuproníquel permite que ele seja moldado e usinado com eficiência, tornando-o adequado para uma ampla gama de aplicações industriais (Costa, 2003).

No entanto, o cuproníquel também apresenta algumas desvantagens. O custo elevado, devido à presença de níquel, pode limitar seu uso em aplicações onde suas propriedades específicas não são essenciais. A soldagem do cuproníquel pode ser desafiadora, exigindo técnicas e equipamentos especializados para garantir a integridade das junções. Além disso, o cuproníquel pode ser suscetível à corrosão galvânica quando em contato com outros metais, como o aço, em ambientes agressivos. As propriedades mecânicas do cuproníquel também podem variar dependendo da proporção de cobre e níquel, o que pode exigir ajustes na fórmula para atender a aplicações específicas (Costa, 2003).

O cuproníquel é amplamente utilizado na indústria naval, onde sua resistência à corrosão e à incrustação biológica o torna ideal para a construção de componentes como sistemas de propulsão, transmissão, tubulações e sistemas de resfriamento. Além disso, o cuproníquel é utilizado em revestimentos de superfícies de componentes navais para prolongar sua vida útil e melhorar a resistência a condições adversas no mar. A liga também é comumente usada na manufatura de moedas, devido à sua facilidade de trabalho, baixo risco de alergia e durabilidade, além de ser utilizada em trocadores de calor, condensadores e tubos para refinarias de petróleo, onde suas propriedades de condutibilidade são altamente valorizadas (Costa, 2003).

A soldagem do cuproníquel pode ser realizada por diversos processos, cada um oferecendo vantagens específicas dependendo da aplicação. A soldagem a arco com eletrodo revestido (SMAW), a soldagem MIG (Metal Inert Gas), a soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) e a soldagem por plasma são técnicas eficazes para trabalhar com cuproníquel, oferecendo controle preciso e alta qualidade nas soldas. No entanto, é crucial garantir a preparação adequada da superfície, o controle da temperatura e o uso de gases de proteção apropriados para minimizar a contaminação e a formação de porosidades na solda. Ensaio e inspeções são recomendados para garantir a integridade das soldas, especialmente em aplicações críticas (Chiaverini, 1986).

Com suas propriedades únicas e aplicações diversas, o cuproníquel continua a ser um material essencial em várias indústrias, destacando-se por sua durabilidade, resistência à corrosão e versatilidade (Chiaverini, 1986).



### 3.7 ALUMÍNIO

O alumínio é o metal mais abundante da crosta terrestre, conhecido por sua leveza, baixa dureza e resistência, além de ser altamente maleável e dúctil. Ele apresenta excelente resistência à corrosão e durabilidade, graças à camada passivadora formada por seus óxidos superficiais. Essas características tornam o alumínio amplamente utilizado em diversas indústrias, desde a fabricação de utensílios até componentes de alta demanda mecânica, incluindo a indústria naval (Chiaverini, 1986).

#### **O alumínio tem as seguintes propriedades:**

- Símbolo: Al;
- Número atômico: 13;
- Massa atômica: 26,982;
- Ponto de fusão: 660,32°C;
- Ponto de ebulição: 2519°C;
- Densidade: 2,70 g/cm<sup>3</sup>;
- Estado físico a 20°C: Sólido;
- Distribuição eletrônica: [Ne] 3s<sup>2</sup>3p<sup>1</sup>;
- Número de isótopos: 22, sendo o Al-27 o mais estável.

Entre as vantagens do alumínio, destacam-se suas excelentes propriedades de usinagem, com uma velocidade de corte cinco vezes superior à do aço, resultando em menor desgaste e maior vida útil das ferramentas de corte. Além disso, o alumínio pesa apenas um terço do aço, oferece alta condutividade térmica (quatro vezes maior que a do aço) e condutividade elétrica dez vezes superior ao aço (Chiaverini, 1986).

No setor naval, as ligas de alumínio mais utilizadas pertencem às séries 5000 e 6000, que possuem teor de magnésio entre 0,6% e 6%. As ligas 5052, 5083 e 6061 são as mais comuns, cada uma com aplicações específicas (Chiaverini, 1986).

#### **Liga 5052 – Alumínio – Magnésio**

#### **Composição química:**

- Magnésio (Mg): 2,50%;

- Cromo (Cr): 0,25%;
- Cobre (Cu): 0,10%;
- Manganês (Mn): 0,10%;
- Ferro (Fe): 0,30%;
- Alumínio (Al): Restante.

**Propriedades:**

- Alta resistência à corrosão;
- Boa resistência mecânica;
- Alta soldabilidade;
- Dureza de aproximadamente 45HB;
- Boa conformabilidade.

**Formato:**

- Chapas;
- Bobinas;
- Blocos.

**Processo de soldagem:**

- Excelente para soldagem TIG (Tungstênio Inerte Gás) /MIG (Metal Inerte Gás);

- **Configurações TIG:**

**Corrente:** Corrente alternada (CA);

**Gás de proteção:** Argônio puro ou mistura de argônio e hélio;

**Consumível:** Recomenda-se utilizar o ER5356;

**Aplicações:** Ideal para soldas de acabamento com alta qualidade e em chapas finas, proporcionando o controle preciso do calor e um acabamento limpo.

- **Configurações MIG:**

**Corrente:** Corrente contínua (CC), polaridade inversa (CCPI);

**Gás de proteção:** Argônio puro ou mistura argônio e hélio;

**Consumível:** Arame de adição ER5356;

**Aplicações:** utilizado em chapas de maior espessura, onde a produtividade é a prioridade.

**Tratamento térmico:**

- Recozimento para reduzir dureza e resistência mecânica, facilitando a conformação.

**Principais aplicações:**

- Indústria naval, carrocerias de ônibus e caminhões, placas de sinalização, peças estampadas de alta sollicitação mecânica, entre outros.
- No meio naval é utilizado principalmente para a construção de tanques de combustíveis e água devido sua alta resistência a corrosão, além de ser leve e durável;
- Painéis de revestimento interno, por ser um material de boa conformabilidade;
- Tubulações e canalizações, onde a resistência a corrosão é de suma importância.
- 

**Liga 5083 – Alumínio – Magnésio - Manganês**

**Composição química:**

- Magnésio (Mg): 4,00%;
- Manganês (Mn): 0,70%;
- Cromo (Cr): 0,15%;
- Ferro (Fe): 0,30%;
- Cobre (Cu): 0,10%;
- Silício (Si): 0,30%;
- Alumínio (Al): Restante.

**Propriedades:**

- Excelente resistência à corrosão;
- Dureza de aproximadamente 75HB;
- Alta soldabilidade;
- Ótima para anodização.

**Formato:**

- Chapas;
- Blocos.

**Processo de soldagem:**

- Aceita bem soldagem TIG (Tungstênio Inerte Gás) /MIG (Metal Inerte Gás).
- **Configurações TIG:**

**Corrente:** Corrente alternada (CA);

**Gás de proteção:** Argônio puro ou mistura de argônio e hélio;

**Consumível:** ER5183 e ER5356, sendo o primeiro mais recomendado para melhor resistência a corrosão e propriedades mecânicas;

**Aplicações:** soldagem de chapas finas ou medias, melhor qualidade de solda.

- **Configurações MIG:**

**Corrente:** Corrente contínua (CC), polaridade inversa (CCPI);

**Gás de proteção:** Argônio puro ou mistura argônio e hélio;

**Consumível:** Arame ER5183;

**Aplicações:** Chapas de maior espessura, maior produtividade.

**Tratamento térmico:**

- Não tratável termicamente.

**Principais aplicações:**

- Indústria naval, moldes termoplásticos, automobilísticos, calçadistas, agrícolas, indústria bélica e aeroespacial.
- Cascos de embarcação, estruturas de convés e superestruturas, componentes de alta carga.

### **Liga 6061 – Alumínio – Magnésio – Silício**

#### **Composição química:**

- Magnésio (Mg): 1,00%;
- Silício (Si): 0,60%;
- Ferro (Fe): 0,50%;
- Cobre (Cu): 0,20%;
- Manganês (Mn): 0,15%;
- Cromo (Cr): 0,20%;
- Alumínio (Al): Restante.

#### **Propriedades:**

- Alta resistência mecânica;
- Alta resistência à corrosão;
- Boa conformabilidade;
- Boa soldabilidade;
- Dureza de aproximadamente 100HB;
- Média usinabilidade.

#### **Formato:**

- Tubos;
- Vergalhões;
- Chapas;
- Perfis.

**Processo de soldagem:**

- Adequada para soldagem TIG (Tungstênio Inerte Gás) /MIG (Metal Inerte Gás).

- **Configurações TIG:**

**Corrente:** Corrente alternada (CA);

**Gás de proteção:** Argônio puro ou mistura de argônio e hélio;

**Consumível:** ER4043 e ER5356, sendo o primeiro mais comum devido a menor suscetibilidade a trincas, já o ER5356 utilizado quando se objetiva maior resistência;

**Aplicações:** Adequado para soldagem de alta qualidade em peças de baixas e medias espessuras.

- **Configurações MIG:**

**Corrente:** Corrente contínua (CC), polaridade inversa (CCPI);

**Gás de proteção:** Argônio puro ou mistura argônio e hélio;

**Consumível:** Arame ER4043 ou ER5356;

**Aplicações:** Chapas de maior espessura e alta produtividade.

**Tratamento térmico:**

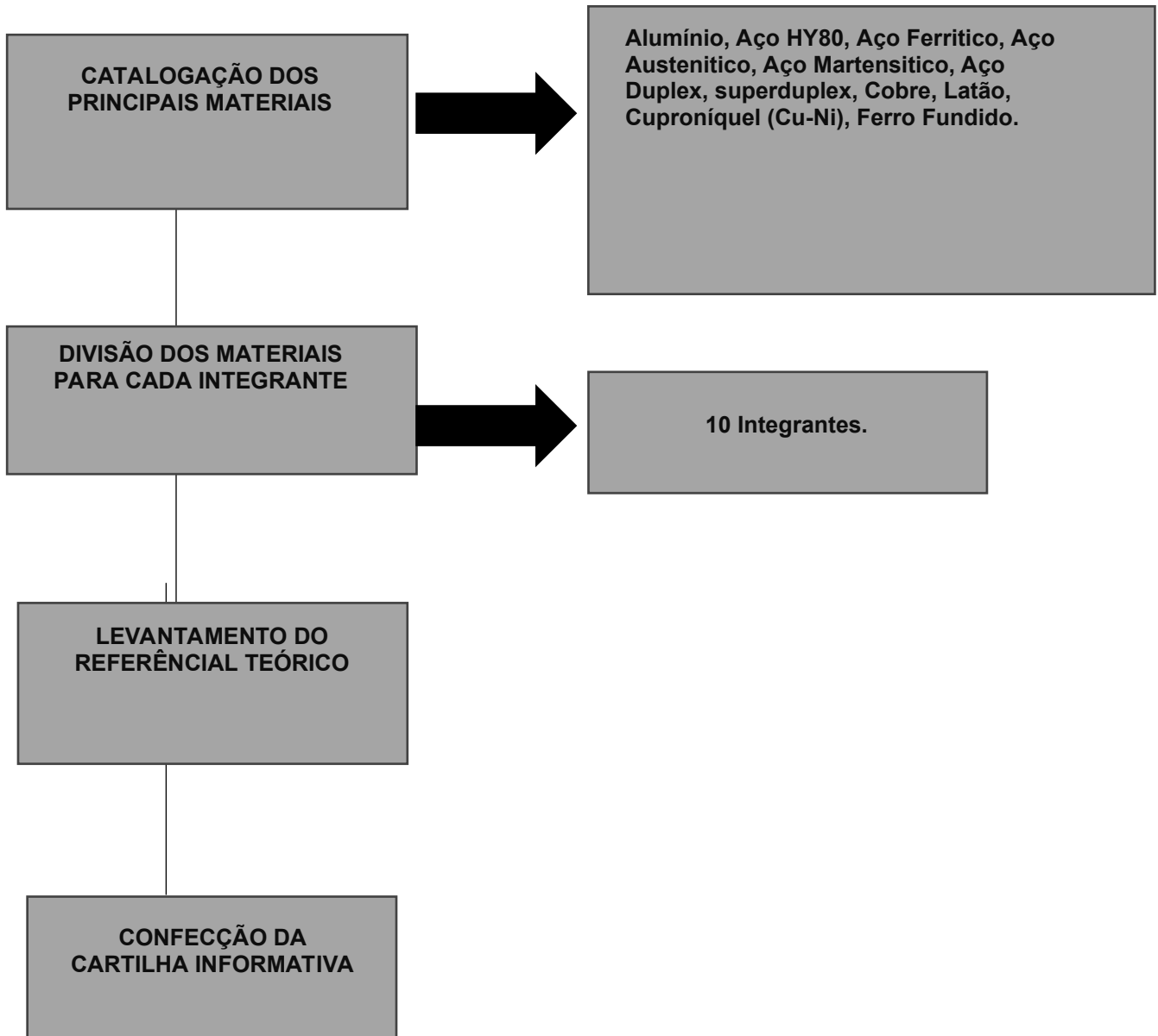
- Realiza-se têmpera para aumento da resistência e revenido para alívio de tensões.

**Principais aplicações:**

- Construção naval, estruturas, veículos, indústria moveleira, vagões e oleodutos.
- Estruturas e quadros de embarcações, peças maquinadas.

#### 4- MÉTODOS

Fluxograma 1: Metodologia do projeto.



Fonte: elaborado pelo autor.

Assim sendo, conforme ilustrado no Fluxograma 1, a metodologia aqui proposta reafirma o compromisso em catalogar os principais aços utilizados nos processos de soldagem, permitindo a construção de um processo educativo, por meio de uma cartilha informativa de linguagem simples, cujo público-alvo é atender a demanda de soldadores iniciantes e de profissionais da área.

## 5- RESULTADOS E DIFICULDADES

No contexto de elaborar a cartilha informativa com os principais aços utilizados no meio naval e indicar o melhor processo de soldagem, a elaboração teórica foi fundamental, para elencar uma análise abrangente sobre os diferentes tipos de materiais.

Deste modo, a pesquisa cobriu uma gama de materiais com diferentes propriedades físico-químicas, desde metais leves como o Alumínio até ligas de alta resistência como aço superduplex e cuproníquel. Logo, com base na TABELA 1, podemos evidenciar as principais conclusões:

Tabela 1: Informações que deverão constar na cartilha informativa.

<b>MATERIAL</b>	<b>PROPRIEDADES DO MATERIAL</b>	<b>PRINCIPAIS LIGAS</b>	<b>PROCESSO DE SOLDAGEM MAIS INDICADO</b>	<b>PRINCIPAIS APLICAÇÕES</b>
<b>Alumínio</b>	Leve, alta resistência à corrosão, boa condutividade térmica e elétrica e boa usinabilidade;	5052 (Al – Mg), 5083 (Al –Mg – Mn) e 6061 (Al – Mg – Si)	TIG em (CA) e MIG Corrente contínua polaridade indireta. (CC+)	Industria naval, Indústria aeronáutica, automotiva e construção civil;
<b>Aço HY80</b>	Alta resistência, boa ductibilidade e alta tenacidade;	Aço de baixa liga com Níquel e Molibdênio	Arco Submerso, TIG, Eletrodo revestido, MIG	Submarinos, vasos de pressão e estruturas navais;
<b>Aço Ferrítico</b>	Boa resistência à corrosão, magnetizável, resistentes a altas temperaturas;	Aço com Cromo;	Arco com eletrodo revestido (SMAW) e TIG	Equipamentos industriais, exaustores, sistema de escape;
<b>Aço Austenítico</b>	Excelente resistência à corrosão, boa ductibilidade, não magnetizável	Aço inoxidável 304, 316 (Cr-Ni)	Corrente contínua  TIG (CC-)  MIG (CC+)  Gás Argônio	Indústria alimentícia, farmacêutica, equipamentos hospitalares, válvulas, tubulações, rebites, tirantes e fios para mola.
<b>Aço Martensítico</b>	Alta resistência mecânica, dureza elevada, boa resistência ao desgaste, menos resistente à corrosão do que os aços austeníticos	Aços inoxidáveis (Cr-C) – 12% a 18% de Cr;	-Eletrodo revestido (SMAW) -Polaridade direta e indireta ; - MIG/MAG (GMAW) Polaridade direta; -TIG (GTAW) – Polaridade direta.	Facas, lâminas de corte, válvulas, eixos de turbinas

Fonte: elaborado pelo autor.



MATERIAL	PROPRIEDADES DO MATERIAL	PRINCIPAIS LIGAS	PROCESSO DE SOLDAGEM MAIS INDICADO	PRINCIPAIS APLICAÇÕES
<b>Aço Superduplex</b>	Maior resistência a corrosão, melhor tenacidade e resistência mecânica do que o duplex;	Cr-Ni-Mo-N	TIG (CC-) e MIG (CC+)	Indústria offshore, - indústrias petroquímicas e usinas de dessalinização
<b>Cobre</b>	Alta condutividade térmica e elétrica, resistência a corrosão e boa ductibilidade;	Cu-Zn (Latão), Cu-Sn (bronze)	Oxiacetilênica e TIG	Fios elétricos, radiadores e trocadores de calor
<b>Latão</b>	Boa resistência à corrosão, boa ductibilidade, excelente condutividade elétrica	O latão é uma liga de Cu-Zn	- TIG (GTAW) Corrente direta; - Brasagem – gás oxiacetileno.	Instrumentos musicais, válvulas, conexões hidráulicas
<b>Cuproníquel (Cu-Ni)</b>	Alta resistência à corrosão em água salgada e boa resistência mecânica	O cuproníquel é uma liga de Cu-Ni	TIG e MIG Corrente contínua polaridade indireta. (CC+)	Sistemas navais, trocadores de calor, condensadores e sistemas de refrigeração
<b>Ferro Fundido</b>	Alta dureza, excelente capacidade de absorção de vibrações e é frágil	Ferro-Carbono-Silício	-Eletrodo revestido (SMAW) -Polaridade direta e indireta ; - MIG/MAG (GMAW) Polaridade direta; -TIG (GTAW) – Polaridade direta.	Blocos de motor, peças de máquinas e bases de máquinas
<b>Aço Duplex</b>	Combinação de resistência à corrosão (semelhante ao austenítico) e resistência mecânica semelhante ao aço ferrítico	Cr-Ni-Mo	Eletrodo revestido (CC+), TIG(CC-) e MIG(CC+)	Indústria de petróleo e gás, indústrias químicas e trocadores de calor
<b>Bronze</b>	Alta ductibilidade, boa condutividade térmica e elétrica, resistência a corrosão, resistência a corrosão	Cu-Sn	- TIG (GTAW)- Polaridade direta (CC-).	-Fios elétricos; -Radiadores; -Trocadores de calor

Fonte: elaborado pelo autor.

Ademais, ressalta-se que a principal dificuldade para a construção da cartilha acima seria em poder simplificar e tornar acessíveis conceitos técnicos e complexos sem comprometer a precisão das informações, já que o tema aborda uma gama de materiais e suas particularidades. Logo, para a adequação de uma linguagem mais acessível é necessário a demanda de mais tempo.

## 6- CONCLUSÃO

A criação desta cartilha informativa deverá representar um avanço significativo na capacitação de profissionais da soldagem, especialmente aqueles que atuam na indústria naval e setores relacionados. Sendo assim, ao abordar de maneira clara e objetiva os principais tipos de aços e ligas metálicas, este material fornecerá uma compreensão detalhada das propriedades e comportamentos desses metais durante o processo de soldagem. Desta forma, isso permitirá que os leitores compreendam não apenas as características de cada material, mas também os métodos de soldagem mais adequados para garantir eficiência e segurança.

É nesta conjuntura que coadunamos a proposta da cartilha como uma materialização teórico-prática dos autores, conseqüentemente, isso vai além de ser um simples recurso técnico; ela tem a intenção de ser uma ferramenta acessível, que atenda tanto a profissionais experientes quanto aos iniciantes, facilitando a consulta rápida sobre técnicas e práticas recomendadas. Desta maneira, ao fornecer esse tipo de suporte, o projeto também se destaca como um recurso potencial para a criação de cursos intensivos, com foco em formação rápida e direta para atender às demandas do mercado, especialmente no contexto da Marinha do Brasil e de outras indústrias. Destarte, gera-se um impacto positivo na qualificação profissional, resultando em trabalhos mais precisos e bem executados.

Outro aspecto importante do projeto é a sua contribuição para o desenvolvimento educacional na área de soldagem. Ao incentivar a adoção das melhores práticas, a cartilha não apenas melhora a qualidade dos trabalhos realizados, mas também promove a disseminação de conhecimento que ainda não está amplamente catalogado no setor naval. O levantamento bibliográfico e teórico realizado nesta pesquisa tem um valor imensurável, pois contribui para a formação de uma base sólida de referências que poderá ser utilizada no processo ensino/aprendizagem e por profissionais e empresas do ramo em longo prazo.

Em suma, portanto, a cartilha proposta desempenha um papel crucial ao disseminar conhecimento técnico de maneira acessível e prática. Ela facilita a adoção das melhores práticas de soldagem e contribui para a capacitação rápida e eficiente dos profissionais, alinhando-se às exigências do mercado. Como resultado, espera-se que o projeto eleve o nível de qualidade e segurança nas atividades de soldagem realizadas com materiais diversificados, gerando benefícios tanto para os trabalhadores quanto para as indústrias envolvidas.

## 7- BIBLIOGRAFIA

CALLISTER, W.D. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS: UMA INTRODUÇÃO**. 5.ed. São Paulo: LTC, 2002.

CHIAVERINI, A. **AÇOS E FERROS FUNDIDOS**. 4 .ed. São Paulo: Editora ABM, 1986.

COLPAERT, H. **METALOGRAFIA DOS PRODUTOS SIDERÚRGICOS COMUNS**. 3ª Edição. São Paulo, Edgard Blucher, 1974.

COSTA, E.M. **AÇOS**. PUC/RS, 2003, Disponível em: [www.em.pucrs.br/~eleani/protagidos/classificacoes.ppt3](http://www.em.pucrs.br/~eleani/protagidos/classificacoes.ppt3).

GENTIL, Vicente. **CORROSÃO**, LTC- **LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS** .Editora AS, 3º, Edição - 1998.

VALE, Alan Rafael Menezes do. **TRATAMENTO TÉRMICO**. Belém, IFPA, 2011.

METALINOXP. **AÇOS DUPLEX E SUPERDUPLEX**. 2024. Disponível em: <https://www.metalinoxsp.com.br/aco-duplex-superduplex>; Acessado em: 17/08/2024

## **APÊNDICE I - RELAÇÃO DE NORMAS E REGULAMENTOS APLICÁVEIS**

1 – **NBR 6110** – Soldagem, métodos e classificações.

2 – **NBR 14232** – Soldagem, consumíveis para soldagem e brasagem forte.

3 – **AWS A5.1** – Especificação para eletrodo em aço carbono;

4 - **AWS D1.1** – Normas de referência para soldagem estrutural do aço;

5 – **AWS D3.6M** – Norma de referência para soldagem subaquática;

6 – **ISO 5817** – Soldagem de juntas soldadas por fusão em aço, Níquel, Titânio e suas ligas;