

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2019**

**PEDRO HEITOR MARTINS BELO MARINO**

**A APLICAÇÃO DOS METAIS NA CONSTRUÇÃO NAVAL**

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**PEDRO HEITOR MARTINS BELO MARINO**

**A APLICAÇÃO DOS METAIS NA CONSTRUÇÃO NAVAL**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Prof. Elizabeth Fátima Lourenço Borges

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**PEDRO HEITOR MARTINS BELO MARINO**

**A APLICAÇÃO DOS METAIS NA CONSTRUÇÃO NAVAL**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Prof.Elizabeth Fátima Lourenço Borges

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

---

Assinatura do Aluno

Dedico este trabalho inicialmente a Deus que sempre me dá força e a oportunidade de estar nesse curso de suma importância para a minha carreira; A toda minha família que está sempre me apoiando e dando suporte no que preciso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus primeiramente pela força e oportunidade de estar neste curso. Agradeço a minha esposa que, mesmo grávida, me incentivou e apoiou durante essa fase em que estive distante. Agradeço a meus pais que como sempre me deram todo o suporte e apoio. Agradeço às empresas Oceânica Engenharia e Consultoria LTDA. e Vships por acreditarem em mim e me darem a oportunidade de melhorar meus conhecimentos e aplicar a bordo de suas embarcações.

O homem que move montanhas, começa  
carregando pedras pequenas.  
(Provérbio Chinês, Autor desconhecido)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é expor os metais mais usados na construção naval, em especial nos sistemas empregados nas praças de máquinas. Em uma praça de máquinas existem diversos sistemas além da propulsão, ou seja, há os equipamentos auxiliares destinados a atividade específica de cada embarcação Mercante, sejam elas para transporte, produção, manutenção ou apoio a outras unidades marítimas. Devido a extensa quantidade de materiais metálicos existentes na indústria, as análises e comentários serão aplicados aos planos e equipamentos comuns existentes nas praças de máquinas de embarcações mercantes. Para isso, serão destacadas as características e propriedades destes metais, apresentando as particularidades mais relevantes que justificam a larga utilização a bordo, e ainda, vincular os materiais às suas utilidades distintas diferenciando-os entre si. Dessa forma, pretende-se incrementar o aprendizado deste tema aos que estiverem interessados em se aprofundar no estudo do emprego de metais no ambiente de máquinas e conhecer um pouco mais as peculiaridades destes materiais.

Palavras-chave: Metais. Praça de Máquinas. Construção Naval. Ferro. Aço. Alumínio. Embarcações Mercantes.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to expose the metals most used in shipbuilding, especially in the systems used in the engine room; In an engine room there are several systems besides propulsion, that is, there are auxiliary equipment intended for the specific activity of each Merchant vessel, whether for transportation, production, maintenance or support to other maritime units. Due to the extensive amount of metallic materials in the industry, the analyzes and comments will be applied to the common plans and equipments existing in the squares of merchant vessels. For this, the characteristics and properties of these metals will be highlighted, presenting the most relevant peculiarities that justify the wide use on board, and also, to link the materials to their different utilities differentiating them from each other. In this way, it is intended to increase the learning of this topic to those who are interested in studying more deeply the use of metals in the machine environment and to know a little more the peculiarities of these materials.

Keywords: Metals. Engine room. Shipbuilding. Iron. Steel Aluminum. Merchant Vessel.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Especificações tipos de aço AISI e SAE	21
<b>Tabela 2:</b>	Grau de soldabilidade de alguns metais.	28
<b>Tabela 3:</b>	Propriedades mecânicas típicas à temperatura ambiente de aços-liga para tubos, no estado recozido	31
<b>Tabela 4:</b>	Condições, propriedades e aplicações de produtos tubulares de aço para pressão	32
<b>Tabela 5:</b>	Máxima tensão admissível, em lb/in <sup>2</sup> , em função da temperatura	33
<b>Tabela 6:</b>	Classificações de Arame	36
<b>Tabela 7:</b>	Vantagens, desvantagens e aplicações típicas de aço-carbono para ferramentas.	38
<b>Tabela 8:</b>	Primeiro passo para seleção	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>CIAGA</b>	Centro de Instrução Almirante Graça Aranha
<b>EFOMM</b>	Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante
<b>END</b>	Ensaio não destrutivo
<b>SAE</b>	Society of Automotive Industry – Sociedade da Indústria Automotiva
<b>AISI</b>	American Iron and Steel Institute – Instituto Americano do Ferro e do Aço
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung – Instituto Alemão para Normatização
<b>ASME</b>	American Society of Mechanical Engineers – Sociedade Norte-Americana de Engenheiros
<b>STCW</b>	International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers
<b>IMDG</b>	International Maritime Dangerous Goods Code

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>C</b>	Carbono
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Ni</b>	Niquel
<b>Co</b>	Cobalto
<b>V</b>	Vanádio
<b>P</b>	Fósforo
<b>Si</b>	Silício
<b>W</b>	Tungstênio
<b>Ar</b>	Argônio
<b>Mo</b>	Molibidênio
<b>Ti</b>	Titânio
<b>Sn</b>	Chumbo
<b>Fe</b>	Ferro
<b>Pb</b>	Chumbo
<b>Al</b>	Alumínio
<b>S</b>	Enxofre

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>TIPOS DE METAIS</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Composição</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Aço Carbono</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Classificação de acordo com a composição química</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Classificação de acordo com a estrutura</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Aplicação</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>PROPRIEDADES</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Propriedades Físicas</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Propriedades químicas</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>PROTEÇÕES</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Proteção contra corrosão</b>	<b>24</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Pintura</b>	<b>24</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Metalização</b>	<b>25</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Oxidação Superficial</b>	<b>26</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Proteção Catódica</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Tipos de ligações nas peças</b>	<b>26</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Rebitagem</b>	<b>27</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Ligações Aparafusadas</b>	<b>27</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Ligações Soldadas</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>METAIS MAIS USADOS</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Tubulações</b>	<b>30</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Sistemas de Óleo Hidráulico</b>	<b>34</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Sistemas Sanitários</b>	<b>34</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Caldeiras e Redes de Vapor</b>	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Aços para Arames</b>	<b>35</b>
<b>5.3</b>	<b>Principais Ferramentas</b>	<b>36</b>
<b>5.4</b>	<b>Peças de Equipamentos</b>	<b>38</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Principais peças de Motores a Combustão Interna</b>	<b>41</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Carcaças de Bombas</b>	<b>41</b>

<b>5.5</b>	<b>Trocadores de Calor</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>DETECÇÃO DE DEFEITOS E ANÁLISE DE FALHAS</b>	<b>43</b>
<b>6.1</b>	<b>Ensaaios não destrutivos mais usados</b>	<b>44</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Inspeção Visual</b>	<b>44</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Partículas Magnéticas</b>	<b>44</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Líquido Penetrante</b>	<b>45</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Radiografia e Ultrassom</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	

## 1. INTRODUÇÃO

Desde que os metais foram empregados na indústria como um geral, as praças de máquinas de embarcações mercantes vêm sendo abastecidas com equipamentos que fazem largo uso desses compostos. As diferentes composições químicas, as quais são inúmeras, de elementos abundantes no globo terrestre, propiciam a criação de diferentes ligas metálicas que podem ser empregadas em diversos meios, sendo um deles a Construção Naval. Essas combinações de elementos devem possuir as proporções exatas de cada composto para que possam suportar, inclusive, os testes aos quais são aplicados para se ter a confirmação de que podem ser aplicados aos seus fins. Para que se possa explicitar a diferença entre os materiais, serão apresentadas quais são as principais propriedades e a ligação com seu uso nos mais variados fins.

A razão pela qual este trabalho está sendo realizado, é para apresentar a importância dos metais quando aplicados nas embarcações mercantes e também para evidenciar a classificação desses metais, assim como suas características e as justificativas para se empregar a bordo. Atualmente, a gama de metais utilizados na indústria naval é imensa, sendo assim, se torna inviável apresentar todos. Por conseguinte, uma atenção especial será dada a alguns metais que são os mais conhecidos, o ferro, o aço e o aço inoxidável, sendo esse último, o mais nobre dentre as opções e o que possui a menor necessidade de manutenção. Além disso, também serão tomados os temas relativos aos cuidados com os metais e os tipos de uniões entre eles.

## 2. TIPOS DE METAIS

A classificação dos metais se dá por Ferrosos e Não Ferrosos. Por serem os mais usados, os metais ferrosos serão o enfoque dessa pesquisa. Os metais ferrosos possuem em sua composição, como principal componente o Ferro (Fe). Por outro lado, os materiais não ferrosos são menos utilizados e compostos por outros componentes.

O ferro é um elemento em abundância na natureza e, a partir dele, é possível produzir diversos tipos de ligas com as mais variadas características. São estes os principais motivos da larga utilização dos metais de um modo geral e, mais especificamente, na construção de sistemas de praça de máquinas.

### 2.1 Composição

Os metais são ligas compostas de ligas de ferro e carbono (C) associadas a outros elementos.

O ferro puro possui uma densidade de 7,87 e um ponto de fusão de 1356°C. O Fe contém pequenas quantidades de manganês (Mn), enxofre (S), fósforo (P), silício (Si), além do carbono. Suas propriedades são alta ductilidade, boa resistência à corrosão atmosférica, alta permeabilidade magnética e uma resistividade relativamente baixa. Estudaremos no capítulo seguinte as propriedades dos metais.

O uso do ferro puro é muito limitado, em comparação com outros materiais ferrosos. Com exceção deste material, todos os outros metais ferrosos são compostos de ligas de ferro e carbono. Os outros elementos presentes existem em teores consideráveis nestas ligas, entretanto, o carbono é o elemento que tem maior influência nas propriedades dos metais.

As ligas de ferro-carbono dividem-se em aços e ferros fundidos. O que difere estes é o teor de carbono, o primeiro possui teor variando entre 0,03% a 2,06% (normalmente esse teor fica abaixo de 1%). Os aços podem possuir elementos de liga com variação do teor de carbono dentro daqueles limites. Existem ainda aços cujo teor atinge 2,5%, são os denominados aços ledeburíticos. As ligas ferro-carbono com teor de carbono superior a 2,06% são consideradas ferro fundido. Esse teor pode chegar a 6,67%.

## 2.2 Aço Carbono

Seria de grande complexidade estabelecer uma classificação precisa e completa para todos os tipos de aços, isso devido ao número muito extenso de espécies e, no caso dos aços-liga, ao constante acréscimo de novos tipos com diferentes elementos de liga e variados teores dos já existentes. Ainda assim, para os tipos mais comuns e teores relativamente baixos de elementos de liga, tanto a SAE (Society of Automotive Industry), a AISI (American Iron and Steel Institute) e outras associações técnicas, como a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), implementaram sistemas de classificação que atendem às necessidades do meio de forma satisfatória. Da mesma maneira, já existe classificação para alguns tipos de aços especiais. Essas classificações são diversas, iremos destacar aqui as três que mais interessam ao nosso estudo. São elas:

- De acordo com a composição química;
- De acordo com a estrutura;
- De acordo com a aplicação.

### 2.2.1 Classificação de acordo com a composição química

De acordo com a norma 6006 da ABNT, os aços-carbono são assim chamados quando os teores de silício e manganês não ultrapassam os teores de 0,6% (Si) e 1,65% (Mn). Neles, podem ainda ser especificados teor máximo de 0,1% de alumínio, teor mínimo de boro de 0,0005%, teor máximo de cobre de 0,3% ou ainda um teor máximo de chumbo de 0,35%. Se forem adicionados outros elementos como selênio, telúrio e bismuto, para melhorar as características de usinabilidade dos aços, estes são ainda considerados aços-carbono, do mesmo modo que o aço com adição de nióbio.

Ainda de acordo com a ABNT, os aços-liga são os aços em que possuem outros elementos de liga, não se considerando como tais os elementos adicionados para melhorar sua usinabilidade. A soma de todos esses elementos, inclusive carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre não pode ultrapassar 6%.

No caso dos elementos silício, manganês e alumínio, sempre presentes nos aços-carbono, os aços serão considerados ligados quando seus teores ultrapassarem 0,6%, 1,65% e 0,1 respectivamente.

Aços-liga de baixo teor de liga, ou seja, os que têm os elementos residuais com teores acima dos considerados normais, ou onde há presença de novos elementos de liga cujo teor não é superior a um valor determinado (3,0% a 3,5%). Nestes tipos de aço, a quantidade total de elementos de liga não é suficiente para alterar substancialmente as estruturas dos aços resultantes, bem como alterar a natureza dos tratamentos térmicos a que devam ser sujeitos.

Aços-liga de alto teor em liga, ou aqueles cujo teor total dos elementos de liga é de, pelo menos, 10% a 12%. Nessas condições, tanto a estrutura do aço resultante pode ser fortemente alterada, como os tratamentos térmicos sofrem modificações, fazendo com que esses tipos de aços necessitem de tratamentos e técnicas especiais.

Aços-liga de médio teor em liga, são considerados como um grupo intermediário entre os dois últimos citados.

### **2.2.2 Classificação de acordo com a estrutura**

Perlíticos: são os aços sem elementos de liga ou com elementos de liga em teores relativamente baixos (até 5,0%); suas propriedades mecânicas, de acordo com o teor de carbono e dos elementos de liga, podem ser aprimoradas por tratamento térmico de têmpera e revenido; também devido ao carbono, sua usinabilidade é considerada boa.

Martensíticos: são aqueles cujo teor de elementos de liga é superior a 5,0%; possuem dureza muito elevada e baixa usinabilidade;

Austeníticos: são os caracterizados por manterem a estrutura austenítica à temperatura ambiente, em função dos elevados teores de alguns elementos de liga (níquel, manganês ou cobre); os inoxidáveis, não magnéticos e resistentes ao calor são exemplos de aços austeníticos;

Ferríticos: são os que também possuem alto teor de alguns elementos de liga (cromo, tungstênio ou silício), porém com baixo teor de carbono. Estes não reagem à têmpera; no

estado recozido, são caracterizados por apresentar estrutura predominantemente ferrítica, com eventualmente poucas quantidades de cementita;

Carbídicos: são aqueles que possuem quantidades relevantes de carbono e elementos formadores de carbonetos (cromo, tungstênio, manganês, titânio, nióbio e zircônio). Sua estrutura é formada de carbonetos complexos dispersos na matriz que pode ser do tipo sorbídico, martensítico ou austenítico, dependendo da composição química. São utilizados principalmente em ferramentas de corte e em matrizes.

### **2.2.3 Aplicação**

Aços para fundição: são aqueles que denotam adequada combinação de resistência, ductilidade e tenacidade; ademais, exibem boa usinabilidade e boa soldabilidade; diversos tipos são suscetíveis a tratamentos térmicos de têmpera e revenido.

Aços estruturais: aço-carbono ou com baixos teores de elementos de liga, apresentam boa ductilidade e soldabilidade e alto valor da relação limite de resistência à tração para limite de escoamento;

Aços para trilhos: são os que, devido às condições de serviço, têm boa resistência mecânica e ao desgaste. São tipicamente aços-carbono;

Aços para chapas: são aqueles que devem apresentar elevada deformabilidade, além de boa soldabilidade e outras qualidades;

Aços para tubos: eles devem ter as mesmas qualidades dos aços para chapas, entretanto devem possuir alguns elementos de liga em especial à utilização específica pretendida.

Aços para arames e fios: aqueles que podem apresentar excelente resistência à tração;

Aços para molas: os que apresentam elevado limite elástico;

Aços para usinagem fácil: são os que demonstram alta usinabilidade, em função de altos teores de enxofre e fósforo, principalmente o primeiro, e ocasionalmente, a presença de chumbo;

Aços para cementação: são normalmente de baixo carbono e baixas taxas de elementos de liga, dessa forma apresentam as melhores características para enriquecimento superficial de carbono, além de um núcleo tenaz, depois da cementação e da têmpera;

Aços para nitretação: são aços-carbono ou com os elementos de liga cromo, molibdênio e alumínio, nos casos de emprego clássico de nitretação;

Aços para ferramentas e matrizes: são caracterizados por sua alta dureza à temperatura ambiente, bem como, nos tipos mais sofisticados, alta dureza à alta temperatura, tenacidade adequada, e onde a resistência mecânica e a ductilidade não importam muito. Os tipos mais aprimorados possuem elementos de liga em teores muito altos, sendo os mais conhecidos os “aços rápidos”, com elevado teor de tungstênio, além de cromo e vanádio e, ocasionalmente, molibdênio, cobalto e outros. Têm alta capacidade de corte e alguns, alta capacidade de suportar deformações.

Aços resistentes ao desgaste: o mais importante destes apresenta alto teor de carbono (entre 1,0% e 1,4%) e manganês em teor bem elevado (10% a 14%);

Aços resistentes à corrosão: possuem elevado teor de cromo ou cromo-níquel, são os chamados inoxidáveis;

Aços resistentes ao calor: possuem elevado teor de cromo e níquel e têm alta resistência à oxidação pelo calor e mantêm as propriedades mecânicas à temperaturas acima da ambiente, muitas vezes, relativamente altas, são chamados de refratários;

Aços para fins elétricos: são os utilizados na fabricação de motores, transformadores e outros tipos de aparelhos elétricos e caracterizam-se pela presença de silício em teores elevados (até 4,75%), ou elevados teores de cobalto (até 50%), ou ainda altos teores de níquel;

Aços para fins magnéticos: têm alto teor de carbono, cromo médio, ocasionalmente tungstênio relativamente elevado, ocasionalmente molibdênio e (os melhores tipos) alta quantidade de cobalto (até 40%); esses aços, quando temperados, demonstram imantação permanente;

Aços ultra-resistentes: esses aços possuem uma alta relação resistência/peso, alguns apresentam limite de escoamento maior que  $150\text{kg/cm}^2$ . Isso é conseguido mediante tratamentos térmicos em composições com diversos elementos de liga em baixos teores;

Aços sinterizados: são resultados da metalurgia do pó, incluindo ferro praticamente isento de carbono, aços comuns e alguns aços especiais, de crescente aplicação na indústria moderna;

Aços gráfiticos: possuem alto teor de carbono e silício, aplicados principalmente em matrizes para conformação a frio;

Aços criogênicos: são caracterizados pela resistência ao efeito de baixas temperaturas.

Os aços são especificados de acordo com as normas da ABNT – NBR 6006. Essa NBR reúne as normas estabelecidas pela AISI e pela SAE. Geralmente, os aços são classificados através de um número, de quatro ou cinco dígitos, onde cada dígito tem a função de informar características da composição química.

É importante frisar que os dois últimos algarismos (os da direita) servem para indicar a percentagem de carbono do aço, em centésimos, para os aços-carbono e aços especiais. Os dois algarismos iniciais demonstram a denominação do aço, ou seja, se são aço-carbono, aço-manganês, aço-níquel, ou outro tipo, deixando esta indicação mais ao primeiro número, e cabe ao segundo número dar uma indicação aproximada da percentagem em que o elemento principal (o que dá o nome à liga) entra no aço.

Segue abaixo uma tabela com a especificação de alguns tipos de aço especificados pela AISI e SAE.

Tipo:	Designação:		Designação
	SAE	AISI	
Aços-carbono	10XX	C 10XX	Aços-carbono comuns.
	11XX	C 11XX	Aços de usinagem (ou corte) fácil, com alto S (ressulfurado).
	12XX		Ressulfurado ou refosfatado
	14XX		Aços com adição de nióbio, Nb 0,10%.
	15XX		Aços com adição de manganês, Mn 1,00 a 1,65%.
Aços-liga	13XX	13XX	Aços-manganês com 1,75% de Mn.
	23XX	23XX	Aços-níquel com 3,5% de Ni.
	25XX	25XX	Aços-níquel com 5,0% de Ni.
	31XX	31XX	Aços-níquel-cromo com 1,25% de Ni e 0,65% de Cr.
	33XX	E 33XX	Aços-níquel-cromo com 3,50% de Ni e 1,57% de Cr.
	303XX	-	Aços resistentes à corrosão e ao calor ao Ni-Cr.
	40XX	40XX	Aços-molibdênio com 0,25% de Mo.
	41XX	41XX	Aços-cromo-molibdênio com 0,50% ou 0,95% de Cr e 0,12%, 0,20% ou 0,25% de Mo.
	43XX	43XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,82% de Ni, 0,50% ou 0,80% de Cr e 0,25% de Mo.
	46XX	46XX	Aços-níquel-molibdênio com 1,5% ou 1,82% de Ni, 0,50% ou 0,80% de Cr e 0,25% de Mo.
	47XX	47XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,05% de Ni, 0,45% de Cr e 0,20% de Mo.
	48XX	48XX	Aços-níquel-molibdênio com 3,50% de Ni e 0,25% de Mo.
	50XX	50XX	Aços-cromo com 0,27%, 0,40% ou 0,50% de Cr.
	51XX	51XX	Aços-cromo com 0,80% a 1,05% de Cr.
	501XX	-	Aços de baixo cromo para rolamentos, com 0,50% de Cr.
	511XX	E511XX	Aços de médio cromo para rolamentos, com 1,20% de Cr.
	521XX	E521XX	Aços de alto cromo para rolamentos, com 1,45% de Cr.
	514XX	-	Aços resistentes à corrosão e ao calor ao Cr.
	515XX	-	Aços resistentes à corrosão e ao calor ao Cr.
	61XX	61XX	Aços-cromo-vanádio com 0,80% ou 0,95% de Cr e 0,10% ou 0,15% de V (min).
	86XX	86XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 0,55% de Ni, ou 0,65% de Cr e 0,20% de Mo.
	87XX	87XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 0,55% de Ni, 0,50% de Cr e 0,25% de Mo.
	92XX	92XX	Aços-silício-manganês com 0,65%; 0,82%; 0,85% ou 0,87% de Mn, 1,40% ou 2,00% de Si e 0%; 0,17%, 0,32% ou 0,65% de Cr.
93XX	93XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 3,25% de Ni, 1,20% de Cr e 0,12% de Mo.	
	950	-	Aços de baixo teor em liga e alta resistência.
Aços com adições especiais	XXBXX	XXBXX	Aços-boro com 0,0005% de B min.
	XXLXX	CXXLXX	Aços-chumbo com 0,15% - 0,35% de Pb.

**Tabela 1:** Especificações tipos de aço- AISI e SAE

Fonte: UNISANTA (2014). p. 06.

### **3. PROPRIEDADES**

Os metais possuem muitas propriedades características deles, que fazem com que tenham uma grande funcionalidade no nosso dia-a-dia. Essas propriedades vêm do tipo da estrutura e do tipo de ligação dos metais. Essas propriedades podem ser agrupadas em físicas, químicas, elétricas, térmicas, mecânicas, entre outros.

Além disso, visto que os átomos dos metais possuem apenas 1, 2 ou 3 elétrons na última camada eletrônica (e essa camada normalmente é bem afastada do núcleo, e, conseqüentemente, atrai pouco os elétrons); o resultado é que os elétrons escapam facilmente e transitam livremente pelo reticulado. Uma “nuvem” ou “mar” de elétrons livres funciona então como uma ligação metálica, mantendo os átomos unidos.

#### **3.1 Propriedades Físicas**

A estrutura dos materiais e as características sobre o seu comportamento quando sujeitos à ação dos campos de forças físicas, como o campo gravitacional, os campos elétricos e magnéticos e as variações térmicas, dependem das propriedades físicas. Como exemplos destas podemos citar: propriedades acústicas; densidade; resistência ao calor; condutibilidade térmica; dilatação térmica, cor, entre inúmeras outras.

#### **3.2 Propriedades Químicas**

Estas propriedades são aquelas que se manifestam quando o metal entra em contato com outros materiais ou mesmo com o meio ambiente. Podemos citar a resistência à corrosão eletroquímica e a resistência à oxidação a temperaturas elevadas.

#### **3.3 Propriedades Mecânicas**

As propriedades mecânicas são aquelas que determinam a resposta do material a determinados esforços ou solicitações externas. Existem muitas propriedades mecânicas e elas são quantificadas a partir dos diversos ensaios mecânicos. São as características levadas em consideração quando da escolha de um material para fabricação de uma peça ou confecção de uma rede ou tubulação. Vamos citar as propriedades mais importantes e pertinentes ao nosso estudo.

**Homogeneidade:** característica do material de manter as mesmas propriedades em todo o corpo.

**Elasticidade:** capacidade de um corpo se deformar quando sujeito a uma sollicitação e voltar à sua forma original quando cessada a força aplicada.

**Isotropia:** propriedade de um material exibir as mesmas propriedades elásticas em todas as direções.

**Plasticidade:** capacidade do material de deformar-se quando sujeito a uma sollicitação externa, continuando a deformar-se sem aparente aumento na sollicitação, não voltando à forma e ao tamanho iniciais quando a sollicitação cessar.

**Ductilidade:** propriedade que permite que o material se deforme plasticamente sob a ação de uma força de tração sem que ocorra fratura; ou ainda, a capacidade do material de se reduzir a fios muito pequenos.

**Maleabilidade:** propriedade dos materiais que permite que estes sofram grandes deformações plásticas, através da ação de forças externas violentas que atuam em compressão, sem sofrerem ruptura.

**Dureza:** capacidade do material de resistir à penetração ou de resistir a ser riscado por outros.

**Resistência à Fadiga:** capacidade que os materiais possuem de resistirem à aplicação de esforços variáveis em sentido e intensidade, sem se desagregarem.

**Tenacidade:** capacidade que os materiais têm de resistir às forças sem se desagregarem; é uma propriedade geral e que mede a capacidade de absorção de energia do material até à ruptura, por ação de esforços normais e/ou tangenciais.

**Resiliência:** propriedade que demonstra a capacidade de absorção de energia no domínio elástico.

**Resistência à tração:** capacidade dos materiais de resistirem a esforços de tração, sem se fraturarem.

## **4 PROTEÇÕES**

Nesse capítulo e no próximo, iremos destacar os principais cuidados que devemos ter com as peças fabricadas em metais. De acordo com suas características, os materiais metálicos utilizados a bordo precisam estar protegidos da corrosão, ser revestidos e pintados para garantir maior vida útil e conservação das suas propriedades.

### **4.1 Proteção contra corrosão**

Como citado anteriormente, o teor de carbono no metal é fator determinante para a ocorrência de oxidação em contato com o ar úmido no mesmo. Quanto menor o teor de C, maior a possibilidade de ocorrer a oxidação. Dessa forma, podemos dizer que os aços macios oxidam mais do que os aços duros. A oxidação ocorre devido a fenômenos eletrolíticos com a formação de óxidos de ferro, que é poroso e permite a continuação do processo. O fato do navio permanecer constantemente em meio marinho contribui para a oxidação ocorrer, por isso é tão importante proteger os metais.

A oxidação é favorecida na presença de bases e ácidos, sendo de suma importância a limpeza adequada das superfícies por processo mecânico ou até mesmo químico. Existem diversos meios de proteger as peças metálicas e iremos citar algumas delas.

#### **4.1.1 Pintura**

A pintura das superfícies metálicas torna-se meio adequado de proteção quando não existem fatores que dificultem em demasia a aplicação da mesma, sendo eles condições de exposição muito severas, a finura das arestas ou o comprimento muito longo.

O meio ambiente e a agressividade dele devem ser considerados, bem como a seleção do tipo de tinta, a preparação da superfície, a sequência de aplicação da tinta, quantas demãos serão necessárias, as espessuras, o tipo da aplicação e as condições de trabalho a que a superfície estará sujeita.

A preparação da superfície a ser pintada constitui fator de extrema importância para o desempenho adequado do processo. Durante a aplicação, a superfície necessita estar livre de ferrugem, poeira, óleos e graxas, bem como a umidade relativa do ar não deve ser maior que 85%. É conveniente limpar a superfície e protegê-la das partículas que possam depositar-se

nela, retirar óleo, graxas e sujeira com solvente, depois retirar a ferrugem e incrustações através de raspagem com escova metálica ou martelo. Essa limpeza pode ser manual ou mecânica.

Os tipos de materiais a ser aplicados na superfície devem ser selecionados de maneira que as diferentes camadas de pintura sejam compatíveis, da mesma forma que a tinta e seu diluente. Existem inúmeros tipos de tintas para metais, é importante destacar que a tinta utilizada a bordo deve ser higroscópica e impermeável a água e gases. A superfície, normalmente, deve estar seca antes da aplicação da tinta e cada camada deve secar completamente antes da aplicação da camada seguinte. Deve ser feita uma inspeção quando da aplicação das tintas para certificar-se de que não há vazios ou cochós, bem como se a espessura é adequada.

#### **4.1.2 Metalização**

Esse processo também muito utilizado relaciona-se à proteção do aço ou ferro com finas camadas de outros metais, mais nobres. Os revestimentos possíveis são utilizando zinco, cobre, chumbo, cromo, estanho ou níquel.

Um desses processos é a galvanização com a formação do aço ou ferro galvanizado. Ele consiste na imersão das peças em banhos de zinco fundido ou através de processos de eletrólise, onde o catodo é o metal a ser revestido e o anodo o metal de recobrimento puro. Outra alternativa é a pulverização. A metalização por zincagem, sendo o mais tradicional, permite uma proteção com duração maior que utilizando os processos normais de pintura.

A galvanização é largamente utilizada pois produz uma camada mais espessa do que a que seria obtida pelos outros processos. Isso torna-se importante visto que o poder de proteção do zinco é de certa forma proporcional à sua espessura. É necessário dizer ainda que, todas as operações de fabricação, especialmente dobras e soldagens, não devem ser feitas após a zincagem.

Esse processo é o mais utilizado para proteger as peças e tubulações encontradas em praça de máquinas das embarcações.

### **4.1.3 Oxidação**

Nesse processo, é provocada uma película envolvente de óxido de ferro, que não permite a oxidação avançar. Esse tipo de proteção é muito usado nas peças de ferro, porém na construção metálica não é adequado devido à maior dimensão.

### **4.1.4 Proteção Catódica**

A corrosão em ambiente marinho dá por fenômeno eletrolítico, como já citado. Ela é causada por uma corrente que, proveniente de zonas anódicas, passa através da solução do mar, chegando às zonas catódicas. Essa corrosão pode ser evitada produzindo uma corrente elétrica com o sinal contrário e bastante forte para neutralizar as correntes parasitas. A proteção catódica limita-se a ligar à superfície metálica que se quer proteger um anodo que transporta metal, neutraliza as correntes parasitas e ainda forma camadas de compostos não solúveis sobre as novas superfícies catódicas.

A bordo esse sistema é utilizado para proteger a estrutura do casco dos navios, o interior de tanques de água salgada, tubulações que permaneçam imersas na água do mar e filtros que aspirem água diretamente do mar. Não é aplicável esse sistema às peças que não estejam em contato direto com o mar.

## **4.2 Tipos de Ligações**

Entre as peças de metais podem existir dois tipos de ligações, as fixas (soldaduras e rebites) e as removíveis (parafusos e colas). Numa mesma estrutura ou equipamento podem haver vários tipos de ligação, entretanto não é o mais encontrado nem tampouco recomendado. Ocasionalmente podemos encontrar peças, por exemplo, aparafusadas, mas com uma soldadura periférica que reforce as ligações. Entende-se, portanto, que o primeiro tipo de ligação deve suportar todos os esforços independentemente do segundo tipo de ligação existir.

### **4.2.1 Rebitagem**

O primeiro tipo de ligação de peças metálicas foi a rebitagem, contudo esse processo vem sendo substituído devido ao aperfeiçoamento dos demais processos, especialmente a soldadura e os parafusos.

Vale a pena citar esse processo, entretanto, pois ainda é encontrado a bordo. Os sistemas que vemos com rebites são a proteção de tubulões de descarga de motores, bem como proteção de resfriadores de ar dos mesmos motores, e proteção de tubulações quentes. Uma máquina rebitadora também é comumente encontrada a bordo para uso em situações emergenciais de reparo ou fabricação de alguma peça utilizando, normalmente chapas de alumínio ou finas de outros tipos de metais, e que não requeiram muito esforço.

Os rebites são feitos a partir de varões redondos laminados e constituem-se de uma cabeça e uma espiga. Uma vantagem é que podem ser utilizados em diversos tipos de materiais. Analisa-se quantos e as posições adequadas para os rebites antes de iniciar o processo. Deve-se fazer a furação das peças a serem unidas simultaneamente, comprimem-se estas peças, introduz-se e alinha-se o rebite e faz-se a cravação com o martelo pneumático ou mecânico. A pressão vai depender do diâmetro, do material e do tipo de estrutura. As juntas rebitadas podem ser por sobreposição ou de topo.

### **4.2.2 Ligações Aparafusadas**

Esse tipo de ligação é encontrado a bordo em diversos sistemas e equipamentos. Sua principal vantagem é a possibilidade de desmontagem parcial ou total para manutenção, reparo, inspeção, movimentação e substituição de componentes. Podemos diferenciar os elementos basicamente pela rosca, sendo que a escolha dos parafusos é feita a partir de sua função, considerando resistência à união, dimensão das peças, velocidade de execução, e diversos outros critérios.

Para classificar uma rosca, são considerados: o passo (avanço axial no sentido axial que permite uma rotação de 360°); o tipo (geometria dos filetes); o sentido (esquerda ou direita); o número de entradas.

A ligação aparafusada pode ser considerada ordinária, que é quando o parafuso atua essencialmente pela resistência ao corte da sua seção transversal; ou pré esforçada, que são

consideradas as forças de aperto e as forças de atrito resultantes do pré esforço do parafuso, sua seção podendo até a não precisar resistir ao corte.

### 4.2.3 Ligações Soldadas

Para falar em soldagem, precisamos lembrar da propriedade dos metais denominada soldabilidade. Essa consiste na facilidade com que os materiais têm de se unir através de soldagem e de formar uma série contínua de soluções sólidas coesas, conservando as propriedades mecânicas dos materiais originais. A principal característica que afeta a soldabilidade dos materiais é a sua composição química. Outra propriedade importante é a capacidade de gerar a série contínua de soluções sólidas entre um metal e outro. Dessa maneira, é necessário saber como as diferentes ligas metálicas se comportam diante dos diversos processos de soldagem.

No processo de soldagem, cada tipo de material exige um determinado cuidado para que se consiga uma solda de adequada. Quando o material a ser soldado necessita de muitos cuidados, como: controle de temperatura de aquecimento e de interpasse, tratamento térmico após soldagem, isso significa que o material tem baixa soldabilidade. Por conseguinte, se o material exige poucos cuidados, quer dizer que o material tem boa soldabilidade.

Segue um quadro que resume o grau de soldabilidade de alguns metais:

Material	Soldabilidade			
	Ótima	Boa	Regular	Difícil
Aço baixo carbono				
Aço médio carbono				
Aço alto carbono				
Aço inox				
Aços-liga				
Ferro fundido cinzento				
Ferro fundido maleável e nodular				
Ferro fundido branco				
Ligas de alumínio				

Ligas de cobre				
----------------	--	--	--	--

Tabela 2: Grau de soldabilidade de alguns metais Fonte: QUARESMA (2011). p. 14.

Um aspecto relevante a ser considerado é que a utilização do calor nos processos de soldagem altera a microestrutura do metal, por esse motivo o metal, após sofrer aquecimento, tem as características mecânicas afetadas. Dessa forma, a junta soldada pode apresentar-se relativamente frágil. A depender do processo de soldagem utilizado e da natureza dos metais submetidos à soldagem, obteremos uma maior ou menor zona termicamente afetada.

Inúmeros são os processos de soldagem, iremos citar os mais utilizados a bordo para soldagem de metais.

## 5 METAIS MAIS UTILIZADOS

A bordo de embarcações mercantes há diversos sistemas. Mais adiante serão citados os metais mais utilizados na construção dessas embarcações. Além disso, serão apresentados os metais que compõem determinados componentes dos equipamentos de tais sistemas, bem como os materiais mais aplicados nas diversas tubulações, a partir da associação com as suas propriedades mais importantes.

### 5.1 Tubulações

Há uma lista grande de aços destinados a fabricação de tubos, isso se deve à diversidade do seu uso: tubulação de água salgada, água doce, vapor, diversos tipos de óleo, gás, ar comprimido, aquecimento, refrigeração, dentre outros. Podemos considerar dois tipos fundamentais de aços empregados em tubulações a bordo: os tubos sem costura e com costura ou soldados. Os tubos sem costura são fabricados a partir de tarugos cheios de aço por processos diversos, geralmente perfuração, extrusão ou mandrilagem.

Os tubos com costura são obtidos a partir de tiras de aço laminadas a quente, cuja largura é a circunferência do tubo e cuja espessura é a própria espessura do tubo, as quais são aquecidas a elevada temperatura (a de soldagem do aço) e em seguida passadas por uma matriz adequada que as dobra na forma de um cilindro, concomitantemente suas extremidades são soldadas de modo a constituir o tubo. Existem diversos tipos de soldagens dos tubos.

De uma maneira geral, os tubos de aço são produzidos em uma variedade grande de dimensões, desde 1/8 polegadas de diâmetro interno até 96 polegadas de diâmetro externo. A espessura dos tubos também é variável, o que dá origem a classes diferentes de produtos, como de peso normal, forte, extra-forte, duplo-extra-forte, de acordo com seu peso ou sua resistência. Dessa forma, faz-se a seleção mais adequada do tubo de acordo com a necessidade do serviço. Estes tubos são ainda recobertos por uma camada de zinco, por galvanização, com o fim de melhorar sua resistência à corrosão.

Para aplicações comuns, o aço utilizado é o aço-carbono de baixo teor, com carbono de 0,10% a 0,25%, possuindo resistência à tração variando de 35 a 50kg/mm<sup>2</sup>. Para aplicações com maiores exigências, usa-se aço carbono médio, de 0,30% a 0,35% de carbono e resistência à tração um pouco maior de 50 a 60kg/mm<sup>2</sup>. É importante frisar que nos tubos de

aço, a resistência à tração é maior nos tubos de menor diâmetro, devido à laminação mais intensa que sofrem.

Para as tubulações onde circulam fluidos em altas temperaturas, como redes de água de aquecimento de motores, óleos lubrificantes, e outros, nas quais o material necessite ter boa resistência à fluência, ou para os casos que o material necessite de boa resistência à corrosão e à oxidação, usam-se aços-liga. Nas situações onde seja necessária resistência ao calor e à fluência, adiciona-se molibdênio, ou molibdênio e cromo, em pequenos teores. Aumentando-se o teor de cromo, aumenta-se a resistência à corrosão.

Para serviços com alta temperaturas, em aplicações de tubos de caldeiras, incineradores, aquecedores, existem uma variedade grande de tipos de aço, sendo que todos eles apresentam como elementos de liga principais o cromo e o molibdênio, isso porque:

- O cromo melhora a resistência à oxidação e à corrosão, como dito anteriormente, além de aumentar ligeiramente o limite de escoamento, a resistência à tração e a dureza. Nestes tubos, o teor máximo de cromo é de 9,0%;
- O molibdênio melhora a resistência à fluência a elevadas temperaturas, entretanto não melhora a resistência à corrosão ou à oxidação. O teor máximo encontrado é de 1,0%.

A Tabela 3 abaixo mostra os valores para algumas propriedades dos aços-liga mais utilizados em tubulações e na Tabela 4, podem ser observadas as composições, as propriedades e as aplicações dos aços para tubulações pressurizadas.

Tipo de liga	Limite de escoamento kg/mm <sup>2</sup>	Limite de resistência à tração kg/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 2'' %	Dureza Brinell	Resistência ao choque Charpy kgm
0,10-0,20 C	30,0	42,0	46	117	6,3
0,5 Mo	34,5	45,0	47	141	7,3
0,5 Cr-0,5 Mo	30,0	43,5	50	140	7,2
1,0 Cr-0,5 Mo	24,5	48,5	40	130	6,3
2,0 Cr-0,5 Mo	32,0	48,5	44	140	7,2
3,0 Cr-1,0 Mo	28,0	48,5	53	146	7,3
5,0 Cr-0,5 Mo	27,0	49,0	47	139	6,3
5,0 Cr-0,5 Mo-Si	41,5	61,5	40	172	8,3
9,0 Cr-1,0 Mo	30,5	51,5	41	145	6,3

Tabela 3: Propriedades mecânicas típicas à temperatura ambiente de aços-liga para tubos, no estado recozido.

Fonte: CHIAVERINI (1981). p.216

Classificação ASTM	Composição Química, %							Propriedades Mecânicas			Aplicação
	C	Mn	P (max.)	S (max.)	Si (max.)	Cr	Mo	Resist. à tração kg/mm <sup>2</sup>	Limite de escoam. kg/mm <sup>2</sup>	Along. %	
A 161	0,10-0,20	0,30-0,80	0,048	0,058	0,25	—	—	32,9	18,2	28	Sem costura, para refinaria e destilação
A 178	0,06-0,18	0,27-0,63	0,050	0,060	—	—	—	42,0	25,9	30	Soldado a resistência elétrica para caldeiras
A 210	0,27 max.	0,93 max.	0,048	0,058	0,10 min.	—	—	42,0	25,9	25	Sem costura, para caldeiras e superaquecedores
A 334	0,25 max.	0,64-1,06	0,050	0,060	—	—	—	38,5	24,5	28	Sem costura, para serviço a altas temperaturas
A 209	0,10-0,20	0,30-0,60	0,045	0,045	0,10-0,50	—	0,44-0,65	42,0	22,4	32	C-Mo sem costura para caldeira e superaquecedores
A 200	0,15 max.	0,30-0,60	0,030	0,030	0,40-0,80	1,45-2,05	0,60-0,81	42,0	17,5	30	Sem costura, para refinaria e destilação
A 213	0,15 max.	0,30-0,60	0,030	0,030	1,00-2,00	4,00-6,00	0,45-0,65	42,0	21,0	30	Sem costura para caldeira, superaquecedores e recuperadores de calor

Tabela 4: Condições, propriedades e aplicações de produtos tubulares de aço para pressão

Fonte: CHIAVERINI (1981). p.217.

Como sabemos, a bordo existe uma enorme variedade de tubulações, todas elas, por permanecerem em ambiente marinho, ficam sujeitas à corrosão e são protegidas deste fenômeno de diversas formas. Estes tipos de proteção serão tratados em capítulo posterior. Contudo, especial atenção será dada às tubulações de água salgada, e os equipamentos que operam com a mesma, pois a exposição destas é superior à das demais. Por esse motivo, dedicaremos um outro capítulo ao aço inoxidável, que é o tipo de aço mais utilizado nessas redes a bordo.

### 5.1.1 Sistemas De Óleo Hidráulico

Nas redes hidráulicas encontramos: tubos de aço carbono sem costura, tubos de aço carbono trefilado sem costura e tubos de aço inoxidável trefilado sem costura. Os meios de

ligação encontrados são flanges de encaixe por solda, flanges com solda de topo e diversas conexões padronizadas por Normas específicas.

### 5.1.2 Sistemas Sanitários

Quanto aos sistemas sanitários, os tubos podem ser fabricados de vários materiais, contudo as tubulações sanitárias são, de maneira geral, fabricadas em aço inoxidável austenítico AISI 304 ou AISI 316.

### 5.1.3 Caldeiras e Redes de Vapor

As tubulações e redes de vapor, sejam ou não vindas de caldeiras, têm seus materiais de fabricação escolhidos em função das suas propriedades mecânicas, resistência à temperatura e à fadiga, resistência à oxidação, dentre outras características. Segue, a seguir, a especificação normalmente encontrada para uma caldeira marítima:

- Tubulões - ASTM A 515 – 70;
- Tubos “riser” - ASTM A 192 ou A 178 Gr A;
- Tubos “downcomer” - ASTM A 106 ou A 192 ou A 178 Gr A;
- Tubos de superaquecedor - ASTM A 213 T 11 ou A213 T 22;
- Coletores de superaquecedor - ASTM A 335 - P 11.

Abaixo há uma tabela baseada na norma ASME (American Society of Mechanical Engineers), que nos fornece dados importantes de resistência mecânica e limites de trabalho para temperaturas elevadas para alguns aços, geralmente empregados na confecção de tubos de caldeira e de vapor no geral.

ASME		650°F	700°F	750°F	800°F	850°F	900°F	950°F	1000°	
ESPECIFIC		350°C	380°C	400°C	430°C	460°C	490°C	520°C	F	
AÇÃO									550°C	
CHAPAS										
SA285 A	===	45.000	11.250	10.900	9.700	8.300	6.600	5.000	===	===
SA285 B	===	50.000	12.500	12.100	11.000	9.400	7.300	5.000	===	===
SA285 C	===	55.000	13.750	13.250	12.050	10.200	7.800	5.000	===	===

SA515 55	C-Si	55.000	13.750	13.250	12.050	10.200	7.800	5.000	3.000	1.500
SA515 60	C-Si	60.000	15.000	14.350	12.950	10.800	7.800	5.000	3.000	1.500
SA515 65	C-Si	65.000	16.250	15.500	13.850	11.400	7.800	5.000	3.000	1.500
SA515 70	C-Si	70.000	17.500	16.600	14.750	12.000	7.800	5.000	3.000	1.500
SA302 A	Mn- 1/2Mo	75.000	18.750	18.750	18.750	18.000	15.900	13.000	8.500	5.500
SA301 B	Mn- 1/2Mo	80.000	20.000	20.000	20.000	19.100	16.800	13.250	8.500	5.500
<b>TUBOS</b>										
SA192	===	47.000	11.750	11.500		9.000		5.000		1.500
SA210 A1	===	60.000	15.000	14.350		10.800		5.000		1.500
SA210 C	===	70.000	17.500	16.600		12.000		5.000		1.500
SA209 T1a	C- 1/2Mo	60.000	15.000	15.000		14.400		12.500		5.500
SA213 T5	5Cr- 1/2Mo	60.000	13.700	13.400		12.800		10.350		5.600
SA213 T9	9Cr- 1/2Mo	60.000	13.700	13.400		12.800		12.000		8.500
SA213 T11	11/4Cr- 1/2Mo	60.000	15.000	15.000		15.000		13.100		6.550
SA213 T3b	2Cr- 1/2Mo	60.000	15.000	15.000		14.700		12.500		6.200
SA213 T22	21/4Cr- 1Mo	60.000	15.000	15.000		15.000		13.100		7.800
SA213 T2	1/2Cr- 1 1/2Mo	60.000	15.000	15.000		14.400		12.500		6.250
SA178 A	===	47.000	11.750	11.500		7.650		4.250		1.300
SA178 C	===	60.000	15.000	14.350		9.200		4.250		1.300

**Tabela 5:** Máxima Tensão Admissível, em lb/in<sup>2</sup>, em função da temperatura.

**Fonte:** DIAS (2001). p.29.

## 5.2 Aços para Arames e Fios

Arame ou fio é um produto obtido por trefilação, de seção transversal uniforme, geralmente circular, muito pequena em relação ao comprimento. Eles podem apresentar-se também com seções diferentes da circular. As dimensões da seção variam de 0,02mm a 25mm. Os aços utilizados na fabricação de arames ou fios variam em composição, desde os aços-carbono, de C mais baixo para as aplicações mais comuns, passando-se pelos de C médio e de alto carbono, para as aplicações de maior cuidado, até os aços-liga, com teores diversos de elementos de liga. A bordo, esses tipos de aço são utilizados em peças pequenas como parafusos e arruelas, arames para serviços como frenagem em porcas, telas, eletrodos de solda, dentre outros. É importante destacar que quanto maior o teor de manganês, maior será a resistência e o arame torna-se mais “endurecível”, elevando-se também o limite elástico, aproximando-se do limite da resistência à tração. Os arames de aço podem ser classificados quer pela forma, quer pela composição química, ou ainda por sua aplicação. Segue uma tabela que indica as aplicações dos aços de arames e suas composições químicas.

Tipo de aço	Porcentagem de carbono	Estado	Aplicações comerciais mais importantes
Baixo Carbono	0,08 a 0,20%	Sem tratamento térmico (isto é no estado encruado)  Recozido ou Normalizado	Eléttodos de solda, pregos, pínos e peças conformadas a partir de arames. Resistência à tração variável de 50 à 100 kg/mm <sup>2</sup> .  Arames lisos e farpados, arames para telas, parafusos, rebites, etc.
Médio Carbono	0,20 a 0,50%	Recozido  Patenteado e trefilado	Parafusos (posteriormente temperados e revenidos)  Cabos, molas de pequena responsabilidade, etc.
Alto Carbono	0,60 a 1,00%	Sem tratamento térmico  Patenteado e trefilado	Eléttodos de solda, arruelas de pressão (posteriormente temperadas e revenidas) etc.  Fio (ou corda) de piano (ou de música); cabos para serviço pesado; tirantes e outras aplicações estruturais de responsabilidade; molas, etc.

**Tabela 6:** Classificação de Arames **Fonte:** CHIAVERINI (1981) p.223.

### 5.3 Principais Ferramentas

Os aços utilizados para ferramentas são os que exigem maiores cuidados e atenção tanto sob o ponto de vista da fabricação, desde a sua fundição, transformação mecânica até o tratamento térmico final, como também sob o ponto de vista da aplicação. Isso é explicado considerando os tipos e condições de serviços a que se destinam e os requisitos que esses aços devem preencher.

Esses metais devem atender às seguintes características:

- **Dureza à temperatura ambiente:** a dureza da ferramenta deve ser maior do que a dureza da peça sobre a qual exercerá sua ação de corte, usinagem ou conformação. A dureza depende essencialmente do teor de carbono, a não ser nos casos de aço-carbono de alta liga. A maioria das ferramentas, tais quais as de corte, é usada à máxima dureza que se pode obter. Em outros casos, a exemplo das sedes para deformação a quente e das ferramentas de percussão, a dureza não é o requisito principal.
- **Resistência ao desgaste:** também é um requisito muito importante, pois o desgaste pode gerar falhas em muitos tipos de ferramentas. Há uma série de fatores que afetam essa resistência: a composição do aço, a resistência mecânica do aço, além de outras situações estranhas ao material, como tipo de lubrificante, tipo de aplicação, calor gerado durante o uso, entre outros. O teor de aço também influi diretamente nessa propriedade, entretanto elementos de liga também podem influir.
- **Temperabilidade:** É um requisito indispensável, porque uma maior penetração de dureza garante perfeita uniformidade de características mecânicas em seções significativas. Nos aços-carbono comuns, é difícil alcançar alta profundidade de endurecimento, sobretudo em dimensões acima de 25mm, porém uma pequena adição de cromo, nessas dimensões, resultará em uma temperabilidade completa.
- **Tenacidade:** É, naturalmente, uma característica desejada em qualquer ferramenta. Contudo, é difícil alcançar resultados concomitantes de alta tenacidade e elevada dureza. A definição de tenacidade, lembrando, seria a capacidade do material de absorver considerável quantidade de energia sem romper. Os fatores que afetam a tenacidade são: tensões internas, produzidas por têmpera drástica, reaquecimento muito rápido dos aços

temperados, retificação inadequada, dentre outros que podem provocar concentração de tensões, atuando como falhas internas.

- **Resistência mecânica:** É uma característica indispensável pois as ferramentas devem apresentar a capacidade de suportar esforços estáticos sem o aparecimento de falhas ou de deformação permanente. São exigidos valores altos, tanto para os limites elásticos, quanto para limites de escoamento. A resistência mecânica é determinada pelos ensaios de tração e de torção estática. É normal, em alguns casos, também, especificar-se a resistência à compressão.

- **Dureza a quente:** Esta característica é desejável em certos aços de ferramentas utilizadas em altas temperaturas e sedes, devido ao calor das próprias condições de serviço ou durante a usinagem. A dureza a quente é a propriedade do material de reter alta dureza a temperaturas elevadas (para os aços rápidos, em torno de 600oC). Para esses tipos de ferramentas, é necessária também alta resistência ao desgaste a essas temperaturas, ao mesmo tempo em que devem ser mantidas as formas e as dimensões das ferramentas e das sedes. A composição química do aço é fator determinante dessa característica, sendo que os elementos responsáveis diretamente por essas propriedades são o tungstênio, a seguir o molibdênio, e por último: o cobalto, o cromo e o vanádio.

- **Usinabilidade:** Essa característica é difícil de ser obtida quando a associamos com alta dureza e resistência ao desgaste. A usinabilidade é tanto menor quanto maior o teor em ligas, por outro lado, aumentando o teor de carbono e de elementos de liga, mais difícil torna-se para diminuir sua dureza do material. Para resolver essa questão, são feitas composições químicas diferenciadas dependendo do uso específico, bem como são realizados tratamentos térmicos para garantir a combinação de características satisfatórias a cada ferramenta.

Segue abaixo uma tabela com vantagens, desvantagens e aplicações típicas de aços-carbono para fabricação de ferramentas.

Vantagens	Desvantagens	Aplicações típicas
<p>Boa usinabilidade</p> <p>Gume cortante agudo</p> <p>Tratamento térmico fácil</p> <p>Dureza superficial elevada com núcleo de tenacidade satisfatória</p>	<p>Dureza a quente muito baixa</p> <p>Suscetibilidade à fissuração no tratamento térmico, quando se exige na peça mudanças drásticas de dimensão</p> <p>Baixa capacidade de manter estabilidade dimensional durante o tratamento térmico</p>	<p>Machos de tarraxas</p> <p>Cossinetes</p> <p>Brocas helicoidais</p> <p>Limas</p> <p>Alargadores manuais</p> <p>Escareadores de tubos</p> <p>Escareadores ajustáveis</p> <p>Serras de fita</p> <p>Frezas para acabamento especial</p> <p>Talhadeiras, cinzéis e formões manuais</p>

**Tabela 7:** Vantagens, desvantagens e aplicações típicas de aço-carbono para ferramentas.

**Fonte:** CHIAVERINI (1981) p.274.

A tabela seguinte serve como um guia inicial para seleção de aços para ferramentas e bases.

Tipo de Serviço	Característicos Principais Exigidos do Aço	Característicos Secundários Exigidos do Aço
USINAGEM	Resistência ao Desgaste e Resistência ao Amolecimento pelo Calor	Tenacidade e Facilidade de Retificação
CORTE	Resistência ao Desgaste e Tenacidade	Segurança e Pequeno Empenamento na Têmpera
CONFORMAÇÃO ESTIRAMENTO	Resistência ao Desgaste Resistência ao Desgaste	Usinabilidade e Tenacidade Pequeno Empenamento na Têmpera
EXTRUSÃO	Resistência ao Amolecimento pelo Calor, Tenacidade e Resistência ao Desgaste	—
LAMINAÇÃO PERCUSSÃO	Resistência ao Desgaste Tenacidade	— Resistência ao Desgaste

**Tabela 8:** Primeiro passo para a seleção **Fonte:** CHIAVERINI (1981) p.301.

#### 5.4 Peças de Equipamentos

Os aços utilizados para uma série de peças de máquinas encontradas a bordo, especialmente de motores e caixas de engrenagens, como eixos, pistões, válvulas, cilindros, engrenagens e peças semelhantes devem possuir uma resistência ao desgaste muito elevada. Isso porque o desgaste que essas peças sofrem é muito alto e dessa resistência depende o funcionamento correto do equipamento, bem como sua vida útil.

Os metais utilizados para a fabricação dessas peças são os aços-manganês austeníticos ou Hadfield, esses aços possuem elevados teores de carbono e manganês, alta resistência mecânica, alta ductilidade, além de alta resistência ao desgaste. Os teores de carbono variam de 1,0% a 1,4% e o manganês entre 10% e 14%, havendo uma tendência a utilizar-se teor de carbono de 1,2% e manganês de 12% a 13%. Os aços carbono-cromo também são utilizados no fabrico dessas peças, em especial em mancais de esfera e rolete, sendo os mais comuns os tipos SAE 5200, 51100 e 50100.

O desgaste é um fenômeno superficial, devido ao contato de superfícies, com pelo menos uma delas em movimento e que resulta na deformação gradual das peças ou na modificação de suas dimensões. Isso acontece também com gradual redução das mesmas até um ponto em que elas perdem sua eficiência quando em serviço, ou apresentam profunda alteração de ajuste, criando dessa forma tensões inesperadas, o que ocasiona sua ruptura através da aplicação de sobrecarga, fadiga ou outro esforço dinâmico.

Esse desgaste ocorre pelo deslocamento ou desagregação de partículas metálicas de uma superfície metálica. Vamos considerar três tipos de desgaste: o de metal contra metal (desgaste metálico); o de metal contra uma substância não metálica abrasiva (desgaste abrasivo); o de metal contra líquidos ou vapores (erosão).

O acabamento da superfície metálica, a dureza e a resistência mecânica e tenacidade são fatores que influem na resistência ao desgaste do metal. E essa propriedade pode ser obtida mediante os meios mecânicos: trabalho a frio ou laminação, estiramento ou deformação a frio, ou ainda pela aplicação de “jato-percussão” ou “jato-abrasivo” nas superfícies das peças; meios térmicos: pela têmpera total ou nitretação; revestimentos superficiais: aplicação de “cromo duro”, siliconização, eletrodeposição, metalização.

Esse desgaste pode ser reduzido: pela melhora no acabamento das superfícies em movimento e em contato; ou também pela introdução de uma película lubrificante entre as duas superfícies de modo que impeça o contato metálico. É importante frisar que é difícil conseguir a lubrificação perfeita e que pode ocorrer a presença de substâncias estranhas e abrasivas no lubrificante que podem gerar até mesmo desgaste abrasivo.

#### **5.4.1 Principais peças de Motores a Combustão Interna**

Os blocos de cilindros, que são os componentes dos motores onde ficam alojados os conjuntos de cilindros, são constituídos de pistões e seus anéis de segmento, camisas, bielas, eixo de manivelas e eixo de comando de válvulas, bem como seus mancais e buchas. Na maior parte dos motores, esses blocos são fabricados em ferro fundido e usinado para que sejam montados seus componentes. Os motores maiores possuem seu bloco feito de chapas de aço soldadas e para motores pequenos possuem bloco em liga de alumínio.

O cárter dos motores, que funcionam como reservatórios para óleo lubrificante é construído de ferro fundido, liga de alumínio ou chapa de aço estampada. Em alguns motores o cárter é do tipo estrutural, formando uma estrutura rígida junto com o bloco.

As bases de motores, em geral, bem como as bases de outros equipamentos como compressores e conjuntos motores-bombas, costumam ser feitas de ferro fundido cinzento, isso se deve principalmente à característica desse material de possuir uma alta capacidade de amortecimento e pelo custo relativamente baixo.

#### **5.4.2 Carcaças de Bombas**

Grande parte dos corpos das bombas encontradas a bordo são fabricadas a partir do ferro fundido. Podemos citar bombas centrífugas (as mais utilizadas para bombeio de água doce e salgada), de pistão (muito utilizadas para óleo hidráulico), e de palhetas.

Algumas bombas podem ser encontradas com o corpo composto de alumínio fundido, por exemplo, as bombas de engrenagens, que são amplamente utilizadas para diversos tipos de óleos. Outras carcaças são, ainda, encontradas em bronze, como é o caso de ejetores e bombas para destiladores.

#### **5.5 Trocadores de Calor**

Os aços chamados refratários são aqueles que, quando expostos de modo contínuo ou intermitente em meios de várias naturezas (gasosos ou líquidos), à ação de temperaturas elevadas, apresentam a capacidade de suportarem aquelas condições de serviço, química e mecanicamente. Esses tipos de aços são utilizados em trocadores de calor, redes de aquecimento, turbinas a gás e a vapor, redes de gases de descarga de motores, e outras aplicações semelhantes.

Em temperaturas superiores à do ambiente, as propriedades normais dos metais podem sofrer alterações. Não só as condições de corrosão e oxidação são agravadas, mas também há uma considerável queda na rigidez do material traduzida em deformação plástica acentuada sob a ação de um esforço mecânico. Esse fenômeno de deformação lenta sob a ação de uma carga constante, aplicada durante longo período de tempo, a uma temperatura acima da temperatura ambiente, chama-se de fluência.

A resistência à fluência, em conjunto com a resistência à corrosão e à oxidação a altas temperaturas são, assim, dois dos requisitos exigidos dos aços refratários. Outras características a serem levadas em consideração para esses tipos de aço são a expansão térmica, a estabilidade estrutural e a fadiga.

Muitos aços de baixo teor de liga são usados, quando sujeitos a esforços de pequeno valor, a temperaturas de até cerca de 500C. Dentre os aços, contudo, os mais indicados para serviços de altas temperaturas são os de alto teor em liga, contendo principalmente cromo e níquel. Coloca-se também, casualmente, alumínio e silício. Para a resistência à oxidação, o elemento básico, como dito anteriormente, é o cromo, cuja ação eficaz se dá a partir do teor de 5,0%. No que diz respeito à resistência à fluência, os elementos que mais influem são o molibdênio, o vanádio, o tungstênio, o titânio e o nióbio. O cobalto também pode contribuir para aumentar o valor dessa propriedade.

Em alguns casos, onde não importam a resistência à corrosão e à oxidação, pode-se usar aço-carbono de baixo teor de C, até temperaturas de 500C. A introdução de cromo e molibdênio a teores baixos, ainda com baixo teor de C, melhora a resistência ao calor. A introdução simultânea desses dois elementos melhora mais a resistência à fluência e um pouco da resistência à oxidação e à corrosão. Esses tipos de aços não são considerados refratários, e são utilizados principalmente em caldeiras a vapor, superaquecedores e aplicações do tipo. A partir de 5,0% de cromo, esse elemento sozinho ou associado ao níquel, torna os aços refratários. E esses metais são divididos em aço-cromo: que pode variar de 5% até 30%; e aço-cromo-níquel: do tipo austenítico, que possui cromo desde 16% a 26% e níquel de 8% a 22%.

## **6 DETECÇÃO DE DEFEITOS E ANÁLISE DE FALHAS**

Para certificar-se de que componentes e peças metálicas dos equipamentos e sistemas de bordo mantenham as características de fabricação, torna-se necessária a realização de medições e inspeções que confirmem a ausência de defeitos. A regularidade e a particularidade dessas inspeções vão depender das características físicas dos componentes, da importância destes no que diz respeito aos esforços a que estão sujeitos e dos processos tecnológicos de fabricação usados.

As técnicas de detecção de defeitos não geram danos aos componentes e são chamados de ensaios não-destrutivos. Além de verificar a qualidade da fabricação do equipamento ou componente, as técnicas de detecção de defeitos são também usadas durante a vida útil dos componentes dos navios, não só para verificação periódica da integridade e do estado do material, mas também, para o caso de ocorrência de uma falha, contribuindo para a análise das razões de sua ocorrência. De maneira geral, pode-se dizer que o nível de aceitação dos defeitos tem que estar relacionado com a influência destes defeitos e, principalmente, da sua progressão, diante das cargas solicitadas, ou seja, os defeitos aceitáveis têm que ser inferiores aos que provocarão avarias.

### **6.1 Ensaios não destrutivos mais usados**

Os ensaios não destrutivos (END) constituem um conjunto de técnicas e de ensaios com o fim de avaliar a ausência de defeitos ou anomalias estruturais, nos componentes mecânicos, sem causar danos. Estes métodos detectam defeitos superficiais ou defeitos internos que constituem descontinuidade estrutural, fissuras, poros, inclusões de impurezas, ausência de aderência, dentre outros. De maneira complementar, algumas destas técnicas servem para a determinação da composição e de algumas propriedades dos materiais.

Os END são muito usados na fase de fabricação dos componentes, entretanto também são fundamentais para que se avalie o estado do material em funcionamento, se controle a evolução dos defeitos detectados e se determine a necessidade de execução de manutenção e reparos nos equipamentos.

### **6.1.1 Inspeção Visual**

Corresponde ao END mais utilizado e econômico. É considerado um dos métodos mais eficaz, porque permite a rapidez da informação sobre certos tipos de defeitos. Nas soldaduras, a inspeção visual permite averiguar se as partes a soldar estão limpas e prontas e, após o procedimento, é possível verificar a regularidade superficial do cordão, sua geometria, o alinhamento, e outros aspectos, dessa maneira permitindo um reparo imediato, caso necessário.

Entretanto, essa técnica possui alguns inconvenientes, dentre eles: dependência da experiência e habilidade do executante; não produz registro, a não ser por métodos secundários; a acuidade visual limita a detecção de defeitos; somente os defeitos superficiais são potencialmente visíveis.

Podem ser utilizados instrumentos amplificadores, como lupa, espelhos, boroscópio, para potencializar o método da inspeção visual.

### **6.1.2 Partículas Magnéticas**

Nessa técnica de ensaio, o metal-base é magnetizado através da aplicação de uma corrente elétrica gerando um campo magnético. Este campo orienta as partículas magnéticas divididas finamente e previamente aplicadas na superfície do metal-base, nas partes com descontinuidade. Esta orientação, que acontece quando as falhas ou descontinuidades existem na superfície ou imediatamente abaixo da mesma, é ocasionada devido a um par de pólos magnéticos que atraem aquelas partículas. Este método possui uma sensibilidade direcional, por isso é muito eficaz quando há defeitos lineares, contanto que os pólos de corrente sejam corretamente aplicados.

Este END também fornece resultados imediatos; necessita de um técnico qualificado; não produz registros diretos; não pode ser utilizado em materiais não magnéticos; detecta falhas superficiais e subsuperficiais.

É muito usado em soldaduras, acima de tudo para controle de defeitos nos cordões iniciais e intermediários; é bastante utilizado em cordões de canto, onde a inspeção radiográfica não é aplicada e a inspeção ultra-sônica é inconveniente.

Há a necessidade de uma desmagnetização posterior, além de ser necessária a limpeza anterior das superfícies da peça a serem ensaiadas. As partículas magnéticas podem ser apresentadas na forma seca ou emulsionadas em líquido adequado. Mesmo que o custo inicial seja alto, esse método de aplicação ainda é econômico.

É interessante ressaltar que a alteração no fluxo magnético notado pela orientação das partículas pode ser devida, não só às descontinuidades anteriormente referidas, mas também às alterações na permeabilidade magnética do material, por conta de tratamento térmico localizado, através de soldaduras, ou ainda outras razões de serviço.

### **6.1.3 Líquido Penetrante**

Para esse método, utiliza-se um líquido penetrante de baixa tensão superficial que entra nas fissuras. Após remover-se o líquido penetrante em excesso, é aplicado um "revelador" que gera um contraste entre a superfície que fica coberta pelo revelador e as partes detectadas com defeito, que mantêm a coloração do líquido penetrante.

Este END, demonstra ser extremamente eficaz para falhas superficiais, além de ser econômico e de fácil e generalizada aplicação e interpretação. Sua aplicação é possível a todos os materiais, exceto os porosos, e não requer equipamento especial (apresentam-se para venda em latas com pulverizador). Também não gera registros diretos. Os vapores são tóxicos, dessa forma, a aplicação dos líquidos penetrantes necessita de arejamento, toda vez que for executada em ambientes fechados. Para superfícies de difícil acesso e com iluminação deficiente, pode-se aplicar um líquido penetrante fluorescente, visível com luz ultravioleta.

### **6.1.4 Radiografia e Ultrassom**

A radiografia é fundamental para atestar a integridade de soldaduras e de peças forjadas e vazadas. É empregada uma fonte de radiação eletromagnética, raio X ou raio Y, que penetra de acordo com a espessura do material a ser ensaiado. Um filme apropriado registra a radiação transmitida. As descontinuidades, com material de densidade diferente ou ainda a ausência de material, modificam a propagação das radiações e geram a impressão do filme de maneira diferente (a passagem de mais radiação gera escurecimento no filme).

A radiografia necessita considerar determinados fatores:

**Segurança:** as radiações são perigosas ao operador e aos circundantes, quando estes não estiverem protegidos. Por isso, o método requer precauções especiais na sua utilização. Da mesma forma, o armazenamento do material requer precauções especiais;

**Seleção da fonte de radiação:** esta fonte deve estar em conformidade com a densidade e a espessura do material, de forma a garantir uma adequada sensibilidade. Esse nível de sensibilidade é controlado através de indicadores de qualidade de imagem (IQI), que são colocados na peça a radiografar;

**Interpretação dos Resultados:** há a necessidade de pessoal técnico qualificado e experiente, pois a interpretação é subjetiva;

**Requisitos Radiográficos:** as sociedades de classificação determinam as exigências quanto ao número de radiografias, sua localização e níveis de aceitação.

Este END é muito útil e de elevada confiança na detecção de defeitos tridimensionais, como porosidades e inclusões sólidas, entretanto, pelos fatores já citados, não é aplicada pelo pessoal de bordo, sendo necessário pessoal específico para realizar essa técnica nos componentes de bordo.

O ultrassom consiste em um método alternativo ou complementar da radiografia. É também amplamente utilizado para medir espessuras e na detecção de defeitos de laminagem e falta de adesão de camadas planas.

O princípio da utilização da radiação ultra-sônica, na detecção de defeitos é determinado quando um impulso ultra-sônico gerado por um cristal é transmitido com um determinado ângulo, através do material submetido à inspeção. O impulso continua até atingir a superfície e é refletido até o transdutor; qualquer descontinuidade age como refletor e o seu tamanho, orientação e geometria, é o que determina a porção de impulso que é refletida.

Este método não possui uma alta confiabilidade, os equipamentos mais comumente utilizados não permitem um registo direto, são relativamente caros e a sensibilidade dos equipamentos é difícil aferir.

## 7 CONCLUSÃO

A bordo de embarcações mercantes, mais especificamente nas praças de máquinas, os metais são os mais empregados durante a construção tanto pela sua diversidade, como pelo custo/benefício e abundância na natureza.

Os metais são sensíveis às variações de temperatura, à pressão, e a diversas outras condições ambientais, em especial à corrosão ocasionada pela presença de água salgada. Por isso, além dos cuidados normais para manter a conservação destes materiais, é necessária atenção especial para a proteção contra este fenômeno, podendo ser feita de diversas formas, dependendo da situação do equipamento ou sistema.

Dito isso, é possível concluir que é de suma importância o conhecimento dos materiais metálicos que compõem o sistema ou equipamento, visto que habilita o oficial de máquinas a tomar as devidas precauções quanto ao manuseio, reparo e uso destes componentes na praça de máquinas.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- **CHIAVERINI, Vicente.** *Aços e Ferros Fundidos- Características Gerais; Tratamentos térmicos; Principais Tipos.* 4ª Ed. São Paulo. 1981.
- 2- **DIAS, Francisco.** *Inspeção em Caldeiras Marítimas.* Rio de Janeiro. 2001.
- 3- **GARCIA, Amauri.** *Ensaaios dos Materiais.* Rio de Janeiro-RJ. 2000.
- 4- **GORDO, José Manuel.** *Tecnologia Naval – Materiais Metálicos – Parte III.* Lisboa, Portugal. 2004-2005.
- 5- **GORDO, José Manuel.** *Tecnologia Naval e Comportamento dos Materiais no Meio Ambiente – Parte I.* Lisboa, Portugal. 2003-2004.
- 6- **MARTINS, João Guerra.** *Materiais de Construção – Metais.* 3ª Ed. 2006
- 7- **OLIVEIRA, Daniel Rodrigues.** *Tipos de aço.* Marabá, Pará. 2010.
- 8- **QUARESMA, José Agostinho.** *Processos de Soldagem.* 3ª Ed. Rio de Janeiro-RJ. 2011.
- 9- **SILVA TELLES, Pedro Carlos.** *Tubulações Industriais.* Volume 1. Rio de Janeiro.
- 10- **VERGARA, S. C.** *Projetos e relatórios de pesquisa em administração.* 2. Ed. São Paulo: Atlas, 1998.

**IFSC.** *Instituto Federal de Santa Catarina.*

*Disponível em:*

[http://joinville.ifsc.edu.br/~paulosergio/Ciencia\\_dos\\_Materiais/Classifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20a%C3%A7os.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~paulosergio/Ciencia_dos_Materiais/Classifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20a%C3%A7os.pdf)