

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS

CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA

PROJETO FINAL DE CURSO

Autor: Raphael Guimarães Oliveira

PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Aprovado por:

Rupen Adamian, Dr. (Orientador)

Achilles J.B. Dutra, D.Sc.

Tsuneharu Ogasawara, D.Sc.

Rio de Janeiro, Agosto, 2009.

OLIVEIRA, RAPHAEL GUIMARÃES

PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

[RIO DE JANEIRO] 2009
(DEMM-POLI/UFRJ, ENGENHARIA METALÚRGICA, 2009)
p.51 vi 29,7cm

Projeto de Formatura – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Curso de Engenharia
Metalúrgica

- 1-Aços inoxidáveis,
- 2-Inox,
- 3-Corrosão,
- 4-AOD,
- 5-VOD,
- 6-Sucata,
- 7-Reciclagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido a sabedoria e a persistência necessárias para concluir o Curso de engenharia.

Aos meus pais e ao meu irmão por serem a família que pedi a Deus durante toda a minha vida, e por sempre terem me dado carinho, apoio e motivação nas horas mais difíceis de minha vida acadêmica. Sem eles eu realmente não conseguiria alcançar este objetivo.

A todos os meus familiares que contribuíram para minha formação como ser humano, em especial aos familiares já falecidos, Rosa Maria e Jorge meus avós maternos, Palmira e Manuel meus avós paternos e meu tio Jailton, aos quais gostaria de prestar esta grande homenagem.

A minha namorada Suellen Martins, que esteve ao meu lado durante os últimos anos de graduação e dividiu comigo todas as glórias e frustrações da etapa final do curso.

Ao meu orientador, Rupen Adamian, pela paciência na transmissão dos ensinamentos, orientação e compreensão. E também, ao professor Flávio Teixeira pelos esclarecimentos de alguns pontos do trabalho.

Aos meus colegas de graduação, Magno Rodrigues, Ricardo Couto, Kioshy de Assis, André Diniz, Filipe José, Adeir Marinho, Rafael Ximenes, Leonardo Sanches, Cleber Porto, Jaqueline Magacho, Bruno Nascimento, Cristiano Barbosa, André Bittencourt, Edigard Suzano, Tiago Fassarela, Pedro Müri e Daniel Reis cujo convívio, em meio a brincadeiras e frustrações, foi fundamental para a superação dos obstáculos.

A professora Vitoria Barthem do Instituto de Física da UFRJ e a todo pessoal do laboratório de Materiais do IF, onde trabalhei por mais de um ano.

A todas as pessoas que de alguma forma, mesmo que indiretamente contribuíram para minha formação humana ou acadêmica.

Resumo do projeto de formatura apresentado ao DEMM/UFRJ como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do grau de engenheiro metalúrgico.

PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Raphael Guimarães Oliveira
Agosto/2009

Orientador: Rupen Adamian

Palavras-chave: Aços inoxidáveis, inox, corrosão, AOD, VOD, sucata, reciclagem.

O presente trabalho investigou as propriedades e as aplicações dos aços inoxidáveis, sempre dando ênfase a sua importância e aos benefícios gerados para a sociedade. Foi feito um estudo detalhado sobre a evolução da produção mundial e nacional de aço inoxidável durante as últimas décadas, levando em conta suas causas e consequências. Foi realizado um levantamento dos principais países e empresas nacionais e internacionais, produtores de aço inoxidável, e de como se encontra o mercado de aço inox atualmente. Foram analisados os principais processos e rotas de fabricação de aços inoxidáveis, suas etapas mais importantes e algumas inovações referentes aos processos de fabricação. Também foram explorados neste trabalho os seguintes pontos: as características que tornam o aço inoxidável um material ecologicamente correto; como ocorre a geração e o reaproveitamento da sucata de aço inox atualmente; os benefícios que as excelentes propriedades ambientais do aço inox podem oferecer à sociedade.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 DO FERRO AO AÇO INOXIDÁVEL.....	1
1.2 HISTÓRIA DO AÇO INOXIDÁVEL.....	4
1.3 ALGUMAS DEFINIÇÕES IMPORTANTES.....	4
1.4 RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	5
2 - PROPRIEDADES E CLASSES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	6
2.1 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	6
2.1.1 Resistência à corrosão.....	6
2.1.2 Resistência mecânica e boa conformação.....	7
2.1.3 Manutenção das propriedades em altas e baixas temperaturas.....	8
2.1.4 Boa soldabilidade.....	8
2.2 PRINCIPAIS ATRIBUTOS DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	9
2.3 CLASSES DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	10
2.3.1 Aços inoxidáveis martensíticos.....	10
2.3.2 Aços inoxidáveis austeníticos.....	10
2.3.3 Aços inoxidáveis ferríticos.....	11
2.3.4 Aços inoxidáveis endurecidos por precipitação.....	11
2.3.5 Aços inoxidáveis duplex.....	11
2.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	12
3 - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	13
3.1 EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	14
3.2 MÉTODOS AOD E VOD.....	14
3.2.1 Método AOD (<i>Argon-oxygen-decarburization</i>).....	14
3.2.2 Método VOD (<i>vacuum-Oxygen-decarburization</i>).....	15
3.3 FABRICAÇÃO EM USINAS INTEGRADAS E SEMI-INTEGRADAS.....	16
3.3.1 Matérias-primas para fabricação em usinas integradas.....	16
3.3.2 Processo de fabricação da Acesita (Arcelor Mittal Inox Brasil).....	17

3.3.3	Matérias-primas para fabricação em usinas semi-integradas.....	19
3.3.4	Processo de fabricação em usinas semi-integradas.....	19
3.4	INOVAÇÕES NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	20
3.4.1	Ferramenta termodinâmica computacional na fabricação de inox.....	20
3.4.2	Processamento de aço inoxidável duplex em moinho planetário.....	21
4	PRODUÇÃO E MERCADO DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	23
4.1	PRODUÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS NO BRASIL.....	23
4.1.1	Principais empresas produtoras de aços inoxidáveis no Brasil.....	25
4.1.2	Mercado brasileiro de níquel.....	26
4.1.3	Mercado brasileiro de aços inoxidáveis.....	27
4.1.4	Perspectivas para o mercado brasileiro de aços inoxidáveis.....	28
4.2	PRODUÇÃO MUNDIAL DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	29
4.2.1	Grandes empresas produtoras de aço inox.....	30
4.2.2	Mercado mundial de níquel.....	31
4.2.3	Mercado mundial de aços inoxidáveis.....	32
4.2.4	Perspectivas para o mercado mundial de aços inoxidáveis.....	35
5	APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	36
5.1	APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA EM GERAL.....	36
5.2	PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	36
5.2.1	Cutelaria.....	36
5.2.2	Construção Civil.....	37
5.2.3	Indústria Automotiva.....	37
5.2.4	Indústrias Alimentícia e farmacêutica.....	38
5.2.5	Bens de consumo duráveis.....	38
5.2.6	Indústria de Componentes de máquinas e equipamentos.....	39
5.2.7	Equipamentos resistentes à oxidação.....	39
5.2.8	Moedas.....	39
5.2.9	Móveis.....	40
5.3	DESCRIÇÃO DE ALGUMAS NOVAS APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	40

5.3.1	Uso do inox em sistemas solares.....	40
5.3.2	Uso do inox no tratamento de efluentes.....	41
5.3.3	Uso do inox em vagões para transporte de fertilizantes.....	42
5.3.4	Aplicação do inox (P410D) em usinas sucroalcooleiras.....	43
5.3.5	Outras novas aplicações do aço inoxidável.....	43
6	RECICLAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	44
6.1	GERAÇÃO DE SUCATA DE INOX.....	44
6.2	PROCESSAMENTO E RECUPERAÇÃO DAS SUCATAS.....	45
6.2.1	Corte com o maçarico.....	45
6.2.2	Enfardamento.....	45
6.2.3	Cisalhamento.....	46
6.2.4	Prensagem.....	46
6.2.5	Retalhamento (shredding).....	46
6.3	RECICLAGEM.....	47
7	CONCLUSÕES.....	50
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
APÊNDICE A	Composição química dos aços inoxidáveis.....	56

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - DO FERRO AO AÇO INOXIDÁVEL

Bem cedo, desde o Período Neolítico, quando nossos antepassados começaram a se organizar em sociedades, o homem logo aprendeu a obter o ferro (Fe), um material duro e resistente que podia se tornar cortante. O Fe não era um material de fácil obtenção, os egípcios costumavam o chamar de “cobre negro do céu”, uma vez que o material raro e valioso era obtido dos meteoros. Os materiais de ferro eram tão raros para os povos antigos que, até que o homem desenvolvesse um processo de obtenção do metal a partir de seu minério, os objetos de ferro seriam extremamente valorizados. Somente depois da Idade do Bronze, há cerca de 8.000 anos, que nas regiões onde havia alta concentração de minério de Fe (hematita, magnetita ou ainda limonitas e a siderita), fogueiras feitas e sustentadas com pedras desses elementos ofereceram as condições físico-químicas necessárias para a produção do metal. Os homens primitivos se deram conta de que para obter ferro, era necessário carvão vegetal e altas temperaturas. O uso do ferro revolucionou a vida dos povos antigos, com a produção em larga escala de ferramentas e armas. Para obter o metal, era preciso fundir os minérios de ferro com o carvão vegetal, em uma proporção de uma parte de minério para dez partes de carvão, em um cadinho de barro, uma espécie de vaso, ou em um buraco feito no solo, revestido de pedras. Depois de vários dias de queima lenta, retirava-se a lupa de metal que se formava, esta era reaquecida ao rubro e trabalhada em um martelo-pilão, que ao mesmo tempo em que lhe dava a forma de barra e melhorava as suas propriedades, também desprendia a escória que se formava durante a redução. Com o tempo e a experiência, o homem passou a extrair todo o ferro a partir de seus óxidos, com posterior processamento para a produção do aço.[1]

No século XVII o inglês Abraham Darby fez uma importantíssima descoberta ao desenvolver uma técnica para destilação do carvão mineral produzindo o que conhecemos hoje como coque. A produção do coque foi um passo importantíssimo para o desenvolvimento da metalurgia, pois ele a libertava do carvão da madeira, uma vez que este era um combustível caro e escasso, devido à lenta renovação das florestas naturais da Europa. O desenvolvimento do coque também levou ao desenvolvimento de cadinhos de grande capacidade, assim como invenção a do alto-forno e a produção de fornalhas de reaquecimento para o forjamento, além da laminação de lupas, que agora podiam chegar a 120 quilos, ou mais. [1]

Em 1856, com a invenção do conversor de Bessemer por Henry Bessemer, passou a ser possível à produção de aço em grande escala e a baixo custo. O princípio deste processo, é a remoção de impurezas do ferro através da oxidação das mesmas pelo ar (especificamente o O₂) soprado no interior do conversor. A oxidação, por ser uma reação fortemente exotérmica, aumenta a temperatura da massa de ferro e a mantém em seu estado fundido. Em 1865, foi desenvolvido o processo Siemens-Martin. Este processo foi idealizado pelo metalurgista francês Pierre Martin e desenvolvido pelo engenheiro e físico Wilhelm Siemens. A sua principal vantagem em relação ao conversor Bessemer, era a possibilidade de utilizar grandes quantidades de sucatas de aço (por exemplo, 50% de sucata e 50% de gusa) que em 1870, já existiam em quantidades apreciáveis. [39,40] Hoje a redução dos óxidos ferro, para posterior produção de aço, pode ser realizada por três processos: Alto-forno (AF), forno elétrico a arco (FEA) e redução direta.

A liga ferro-carbono, também conhecida como aço ao carbono, é empregada atualmente em difundidos materiais para a construção mecânica e civil. No Brasil, sua primeira utilização foi no viaduto ferroviário, na Serra do Mar, em São Paulo, no ano de 1865. A ciência da metalurgia abriu também, o caminho ao emprego dos chamados elementos de liga. A adição de silício, manganês, cromo, níquel, molibdênio e outros elementos conferem aos aços ao carbono propriedades que os tornam aplicáveis em diversas aplicações. A partir disso, podemos concluir que os aços estão divididos em dois grandes grupos: aços ao carbono e aços especiais. Os primeiros, ditos “comuns”, constituem a ampla gama dos aços estruturais, matéria-prima para a fabricação de vergalhões, perfilados para a construção, chapas laminadas, tubos e barras. Em contraste, os aços especiais são dotados de propriedades específicas, geralmente exigidas para aplicações específicas, como por exemplo, alta resistência mecânica e à exposição em ambientes corrosivos. [1]

A perda de peças metálicas por ação da corrosão foi um dos fatores que mais motivou pesquisadores e engenheiros metalurgistas a procurarem constantemente não apenas aperfeiçoar e desenvolver novos métodos de proteção do aço, como também aperfeiçoar e criar novas ligas que apresentassem melhor resistência à corrosão. Dentre estas novas ligas que possuíam a propriedade de anticorrosão, uma das que se destacaram, foi a liga ferrosa com baixo carbono (entre 0,03 e 0,95%), contendo no mínimo 11% de cromo, hoje conhecida como aço inoxidável, que é o principal objeto de

estudo do presente trabalho. [2] Antes de dar seguimento ao trabalho, são apresentados alguns conceitos importantes que poderão ser úteis para melhor compreensão de alguns pontos que serão explorados mais à frente.

Aço: São ligas que têm o ferro e o carbono como principais componentes, além de poderem conter concentrações apreciáveis de outros elementos químicos. Teoricamente para ser definida como aço, a liga Fe-C deve possuir um teor de carbono menor que 2,14%, porém, em aços comerciais a concentração de carbono é bem menor do que essa. Ligas Fe-C com teor de carbono acima de 2,14% são classificadas como ferros fundidos. As propriedades mecânicas dos aços estão diretamente relacionadas com o teor de carbono, que neste caso, normalmente é inferior a 1, e também, com o tratamento térmico a que estes são submetidos.[5]

Aço inoxidável (inox): Termo empregado para identificar a família dos aços que contém no mínimo 11% de cromo, elemento que fornece ao material uma elevada resistência à corrosão. Quando distribuído de maneira homogênea em toda a superfície do material, o cromo ao entrar em contato com o oxigênio do ar reage e forma uma camada fina, contínua e resistente de óxidos, protegendo o material contra ataques corrosivos do meio-ambiente.[3]

Corrosão: Aços comuns ao reagirem com o oxigênio do ar, formam uma camada superficial de óxidos de ferro. Esta camada por sua vez é porosa, o que permite a contínua oxidação do metal, produzindo a corrosão, vulgarmente conhecida como “ferrugem”. A palavra corrosão indica a destruição de materiais sob a ação química ou eletroquímica do meio circunvizinho. Devido a este fato, o fenômeno da corrosão desperta interesses técnicos, científicos e também econômicos.[12]

Camada passiva: É uma camada fina, contínua, resistente e invisível, formada sobre a superfície do aço inox, pela combinação do oxigênio do ar com o cromo do aço. Devido à elevada afinidade entre o cromo e o oxigênio a película protetora é formada muito rapidamente, ou seja, instantaneamente. Esta camada é muito estável, aderindo-se bem à superfície do metal e evitando o seu desprendimento, além de não ser porosa, impedindo assim o ataque do meio agressivo.[12]

1.2 - HISTÓRIA DO AÇO INOXIDÁVEL

O aço inoxidável foi desenvolvido por Harry Brearly (1871-1948), que começou a trabalhar como operário numa produtora de aço aos 12 anos de idade, na sua terra natal, Sheffield (Inglaterra). Em 1912, Harry começou a investigar, a pedido dos fabricantes de armas, uma liga metálica que apresentasse uma resistência maior ao desgaste que ocorria no interior dos canos das armas de fogo como resultado do calor liberado pelos gases. De início, a sua pesquisa consistia em investigar uma liga que apresentasse uma maior resistência a erosão. Porém, ao realizar o ataque químico para revelar a microestrutura desses novos aços com altos teores de cromo que estava pesquisando, Brearly ficou surpreso ao constatar que o ácido nítrico (um reagente comum para os aços), não surtia efeito algum. Brearly então se deu conta de que não havia obtido uma liga metálica que resistia ao desgaste, e sim uma liga metálica resistente à corrosão. A aplicação imediata foi destinada à fabricação de talheres, que até então eram fabricados a partir de aço carbono que se corroíam com facilidade devido aos ácidos presentes nos alimentos. Um ano mais tarde na Alemanha, Eduard Maurer, que estudava uma liga Fe-Cr que continha além dos elementos da liga de Brearly cerca de 8% de Ni, constatou que a liga em questão resistia à exposição de vapores agressivos durante vários meses, o que confirmou a tese de que ligas com altas concentrações de cromo são mais resistentes à corrosão. [1,2]

1.3 - ALGUMAS DEFINIÇÕES IMPORTANTES: [13,14,15,16]

Cromo: O cromo (Cr) é o elemento químico de número atômico 24 e massa atômica 51,99 u.m.a. situado no grupo 6(6B) da tabela periódica. É um metal de transição de cor prata, brilhante. Possui uma densidade de 7,140 (g/cm³), ponto de fusão de 2180,0K e ponto de ebulição de 2944,0K. Possui uma elevada dureza, e também uma elevada resistência à corrosão. O elemento cromo tem elevada afinidade pelo elemento oxigênio (O₂), reagindo com ele instantaneamente. É encontrado numa grande variedade de minerais na crosta terrestre. Os dois minerais mais importantes do cromo são: Cromita (FeCr₂O₄) e Crocoíta (PbCrO₄).

Níquel: O Níquel (Ni) é o elemento químico de número atômico 28 e massa atômica 58,71 u.m.a. situado no grupo 10(8B) da tabela periódica. É um metal de transição de coloração branco-prateada, bom condutor de calor e eletricidade. Possui densidade de 8,90g/cm³, ponto de fusão 1455°C e cristaliza-

se com estrutura cúbica de face centrada. É extraído dos minerais garnierita, pirrotita, millerita e pentlandita. Apresenta excelente resistência à oxidação, boa ductilidade. A combinação destas propriedades torna o níquel e suas ligas materiais adequados para aplicações em temperaturas elevadas. Por não sofrerem transição dúctil-frágil, esses materiais também são utilizados para fins criogênicos.

1.4 - RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Certamente uma grande vantagem do aço inoxidável, é a sua capacidade de ser reciclável, uma vez que as normas ambientais estão cada vez mais rígidas nos dias de hoje. A capacidade de reciclagem é um fator-chave para a avaliação das propriedades ambientais de um determinado material, e nesse sentido o aço inoxidável tem uma grande vantagem, tendo em vista que os objetos de aço inoxidável nunca se tornam lixo ao final de sua vida útil, pois, separados e recuperados, seus componentes (ferro, cromo, níquel e molibdênio) podem novamente ser adicionados ao forno elétrico para fusão, participando outra vez do processo de fabricação do material. A reciclagem do aço inoxidável não é apenas teoria, mas realidade. Produção e reciclagem não são fases separadas no ciclo de vida do material, ambas fazem parte da mesma etapa.[4]

Baseado neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal, investigar as aplicações dos aços inoxidáveis (tradicionais e algumas inovações), além dos processos de produção e reciclagem de aços inoxidáveis de consumo para a aplicação na indústria química, petroquímica, alimentícia e outras. Foram abordados neste trabalho os seguintes pontos: as propriedades e classes dos aços inoxidáveis; as principais aplicações do inox na indústria em geral; a produção de aço inox (no Brasil e no Mundo); o seu consumo por setor industrial; os principais processos de produção (já consolidados e algumas inovações); e a geração de sucata a partir do inox, assim como o seu reaproveitamento.

2 - PROPRIEDADES E CLASSES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

O aço inox é na verdade uma evolução do aço ao carbono porque acrescenta em sua composição um novo elemento químico (o cromo) que lhe garante maior resistência e durabilidade. Este tipo de aço apresenta elevada resistência à corrosão (oxidação superficial) em uma variedade de ambientes, especialmente à atmosfera ambiente, o que conserva a qualidade original dos produtos por muito tempo. Seu elemento de liga predominante é o cromo, e é necessária uma concentração de pelo menos 11% deste elemento, para garantir que o material tenha propriedade anticorrosiva. A resistência à corrosão do aço inox pode ainda ser melhorada através da adição de elementos, como níquel, molibdênio, vanádio e tungstênio. Os aços inoxidáveis têm aplicações devido as suas propriedades mecânicas, físicas e metalúrgicas. Sua beleza e versatilidade fazem com que o aço inox tenha um campo de aplicações muito abrangente. Sua superfície clara é uma vantagem estética; sua esterilidade faz com que possam ser utilizados em instrumentos cirúrgicos; a resistência às altas temperaturas, é ideal à indústria alimentícia; e sua elevada resistência mecânica e boa soldabilidade associada as suas demais propriedades permite seu uso no setor automotivo, além de outras aplicações que serão apresentadas com maiores detalhes mais adiante neste trabalho. [1,2,3]

2.1 - PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

2.1.1 Resistência à corrosão

O cromo garante a propriedade de anticorrosão ao aço inoxidável devido ao fato de se combinar com o oxigênio do ar e formar uma camada passiva que é fina e invisível a olho nu. Esta camada é muito aderente ao aço, e tem sua resistência elevada à medida que se aumenta a concentração de cromo no aço. A camada passiva é tão eficaz, que mesmo quando o filme de óxidos sofre avarias como arranhões, amaciamentos ou cortes, o oxigênio do ar combina-se imediatamente com o cromo e forma um novo filme protetor na região danificada. [3,7]

2.1.2 Resistência mecânica e boa conformação

Os aços inoxidáveis possuem uma ampla faixa de resistência mecânica. Na sua condição bruta de fusão, o aço inox apresenta uma resistência à tração similar à do aço doce (por volta de 400MPa), ao passo que um aço inox austenítico, após tratamento térmico adequado, pode ultrapassar os 2000MPa. Sua dureza varia de acordo com a classe, sendo o aço inoxidável austenítico o mais macio, o ferrítico apresenta uma dureza intermediária e o martensítico é extremamente duro.[7]

No que diz respeito à ductilidade dos aços inoxidáveis, podemos dizer que ela varia inversamente com a resistência mecânica. O austenítico que é o mais macio e tenaz, possui uma altíssima ductilidade (a elongação geralmente ultrapassa os 60%), o que mostra que este tipo de aço pode ser alongado mais da metade do seu comprimento inicial antes de fraturar. Logo o aço inox austenítico pode ser trabalhado a frio para oferecer uma extensiva faixa de produtos acabados e semi-acabados. Os ferríticos não possuem uma ductilidade tão alta como a dos austeníticos e os martensíticos devido ao fato de serem extremamente duros (frágeis), possuem baixa ductilidade.[7,11]

Os aços inoxidáveis ferríticos apresentam uma alta resistência mecânica e ductilidade, porém não possuem uma altíssima conformabilidade como os aços inoxidáveis austeníticos. Já os aços inoxidáveis martensíticos devido a sua alta dureza, só podem ser conformados na condição de “recozidos”, e posteriormente devem ser tratados termicamente para adquirirem alta resistência mecânica e dureza, porém isto resulta numa queda da sua ductilidade. É importante notar que o “recozimento” destes aços é, na realidade, um revenimento à temperatura elevada (entre 600 a 750°C), devido a sua alta temperabilidade, causada pelo alto teor de cromo (entre 11 e 18%).[11,29]

Os aços inoxidáveis duplex geralmente em termos de predominância de fases são 50% austeníticos e 50% ferríticos, e por isso reúnem propriedades das duas fases. A grande maioria destes aços apresenta boa resistência mecânica e alta resistência à corrosão sob tensão. Sua tenacidade é superior a dos aços inoxidáveis ferríticos, mas não tão boa quanto a dos austeníticos.[7,11]

Os aços inoxidáveis endurecidos por precipitação, por sua vez, apresentam como suas principais propriedades mecânicas, aptidão a usinagem (facilidades de fabricação), alta resistência

mecânica e relativa boa ductilidade.[17]

2.1.3 Manutenção das propriedades em altas e baixas temperaturas

Em aços comuns a resistência mecânica decresce à medida que a temperatura aumenta, a taxa dessa redução depende entre outros fatores da composição química da liga, porém os aços inoxidáveis conseguem manter grande porcentagem de sua resistência mecânica em elevadas temperaturas. Alguns aços inox austeníticos podem trabalhar a temperaturas que ultrapassam os 1100°C, temperatura na qual a sua resistência mecânica começa a decair, mas ainda é adequada a muitas aplicações.[7]

Em temperaturas baixas, por volta de -200°C ou até mesmo em temperaturas mais baixas, vários aços comuns sofrem altíssimo decréscimo na sua ductilidade e resistência ao impacto, fraturando de maneira frágil. O aço inox austenítico não apresenta essa transição dúctil-frágil, e por isso, é selecionado para aplicações nas quais se têm severas condições de serviço, na produção e liquefação de gases e outras condições industriais com temperaturas baixíssimas (da ordem de -250°C).[7,11]

2.1.4 Boa soldabilidade

Outra propriedade importante que deve ser enfatizada é a sua soldabilidade. Quando dizemos que um material possui baixa soldabilidade, estamos dizendo, que o seu processo de soldagem envolve uma série de cuidados, em raríssimos casos significa que o material não pode ser soldado. Os aços inoxidáveis apresentam uma boa soldabilidade, que exige alguns cuidados especiais durante o processo de soldagem. A soldabilidade dos aços inoxidáveis está diretamente relacionada com a classe que este pertence, sendo diferentes os problemas encontrados na soldagem de aços inoxidáveis ferríticos, martensíticos e austeníticos. A tabela 01 apresenta alguns problemas na soldabilidade metalúrgica de aços inoxidáveis. [3]

Tabela 01: Problemas durante o processo de soldagem [3]

Tipo de aço inoxidável	problema
Ferrítico	sensitização*1 / fragilização por hidrogênio*2 / crescimento de grão
Austenítico	sensitização / trincas à quente (trinca de solidificação e reaquecimento)
Martensítico	fragilização por hidrogênio

*¹ Sensitização – É caracterizada por um ataque localizado nos contornos de grão. Estes locais apresentam regiões adjacentes empobrecidas em cromo, devido à precipitação de fases ricas neste elemento, como carbonetos de cromo. Caso o teor de cromo desta região fique abaixo de 11%, elas serão corroídas preferencialmente. Este tipo de fragilização ocorre quando o material fica exposto à faixa de temperatura de 600 a 900°C.[3]

*² Fragilização por hidrogênio – Este tipo de fragilização é muito perigosa, pois em muitos casos as trincas não ocorrem logo após a soldagem ou são tão pequenas que podem estar abaixo do limite de detecção dos ensaios não destrutivos. Existem relatos de ocorrência de trincas uma semana após a realização da soldagem. Para a ocorrência da fragilização por hidrogênio são necessários três fatores: origem e localização de hidrogênio; transporte do hidrogênio até o local onde interage com o metal e causa a fragilização; e mecanismos de fragilização. [3]

2.2 - PRINCIPAIS ATRIBUTOS DOS AÇOS INOXIDÁVEIS [3,7,11]:

- Alta resistência à corrosão;
- Resistência mecânica elevada (pode ultrapassar 2000 MPa);
- Facilidade de limpeza, devido à sua baixa rugosidade superficial;
- Boa soldabilidade;
- Mantém suas propriedades, mesmo quando submetido a elevadas temperaturas ou a baixas temperaturas (materiais criogênicos);
- Acabamentos superficiais e formas variadas;
- Versatilidade e Forte apelo visual (modernidade, leveza, e prestígio);
- Relação custo/benefício favorável;
- Baixo custo de manutenção;

- Material 100% reciclável: não agride o meio ambiente;
- Material inerte, ou seja, não deixa gosto, não tem cheiro e não desprende metais;
- Durabilidade: o que é feito em inox é feito para durar por muito tempo.

2.3 - CLASSES DE AÇOS INOXIDÁVEIS:

Os aços inoxidáveis estão divididos em cinco grandes classes com base na fase constituinte predominante na sua microestrutura. Os mais tradicionais são os aços inoxidáveis martensíticos, ferríticos e austeníticos, existindo ainda os endurecíveis por precipitação e os aços duplex.

2.3.1 Aços inoxidáveis martensíticos

Foram os primeiros a serem desenvolvidos comercialmente (para a fabricação de facas) e têm maior concentração de carbono (entre 0,1% e 1,2%) se comparado com os outros aços inoxidáveis. Este aço inox possui uma concentração de cromo que varia de 12% a 18%. São capazes de serem submetidos a tratamento térmico para serem endurecidos, de tal maneira que a martensita seja o seu constituinte principal. As características mais importantes desses aços são as seguintes: São ferro-magnéticos; podem ser facilmente trabalhados, tanto a quente como a frio, sobretudo quando o teor de carbono é baixo; apresentam boa resistência à corrosão quando expostos ao tempo, à ação da água e de certas substâncias químicas; a resistência a corrosão cai à medida que aumenta o teor de carbono, o que é compensado pelo alto teor de cromo; normalmente, não são susceptíveis de precipitação de carbonetos nos contornos de grãos; o níquel melhora a sua resistência à corrosão; são tratáveis termicamente.[2,3,5,18]

2.3.2 Aços inoxidáveis austeníticos

Para estes aços inoxidáveis o campo de fases da austenita (ou fase γ) se estende até a temperatura ambiente, e além disso devido a sua alta concentração de cromo (variando entre 16% e 26%) e também às adições de níquel (6% a 22%), os aços inoxidáveis austeníticos são os mais resistentes à corrosão, e por isso, são os mais habitualmente usados, somando mais de 70% da produção (tipo 304, é o mais usado). As características gerais destes aços são as seguintes: não são magnéticos; não são tratáveis termicamente; quando encruados, o aumento de dureza que se verifica é bem superior ao que se encontraria, através da mesma deformação, em outros aços. Esse aumento além do normal da dureza, pode ser atribuído à instabilidade da austenita que, sob o efeito das tensões do encruamento

transforma-se parcialmente e paulatinamente em ferrita. Esta ferrita supersaturada de carbono, nas mesmas condições que uma martensita, contribui para o endurecimento excepcional do aço.[2,3,5,18]

2.3.3 Aços inoxidáveis ferríticos

Por sua vez também têm o cromo como principal elemento de liga, variando entre 12% e 18%. O teor deste elemento pode, neste caso, superar o máximo verificado nos aços martensíticos e como o percentual de carbono não ultrapassa 0,35% (valor já considerado excepcional) a austenita fica inteiramente eliminada. A microestrutura destes tipos de aço, à temperatura ambiente, com qualquer velocidade de resfriamento, é sempre composta pela fase ferrita α (CCC). As características mais importantes desses aços são as seguintes: São ferromagnéticos; sua resistência é aumentada através de deformação plástica a frio, uma vez que eles não são tratáveis termicamente; sua dureza é baixa, a não ser a do tipo 430 quando temperado; estão sujeitos a adquirirem fragilidade quando aquecidos em torno de 475°C ou resfriados lentamente através dessa temperatura. O fenômeno ocorre devido ao aumento da dureza e queda da ductilidade atribuídos ao surgimento da fase sigma (Fe-Cr).[2,5,18]

2.3.4 Aços inoxidáveis endurecidos por precipitação

Este tipo de aço contém geralmente um teor de 10 a 30% de cromo em sua composição química, além de Mo e Ni. As fases que são responsáveis pelo endurecimento por precipitação são formadas a partir de Cu, Al, Ti e Nb. As características mais importantes desses aços são as seguintes: apresentam elevada resistência mecânica, sem grande subtração da resistência à corrosão em muitas aplicações; outra característica interessante dos aços inoxidáveis endurecidos por precipitação, reside no fato de que muitas destas ligas mantém a sua elevada resistência mecânica, mesmo quando são expostas à altas temperaturas. [17]

2.3.5 Aços inoxidáveis duplex

Por fim, temos ainda os aços inoxidáveis duplex, que contém alta concentração de cromo (entre 18% e 28%) e uma quantidade moderada de níquel (entre 4,5% e 8%). O níquel contido neste tipo de inox é insuficiente para gerar uma estrutura austenítica completa, e assim, o resultado da combinação

é uma microestrutura que combina o tipo ferrítico e o tipo austenítico, contendo ainda molibdênio numa concentração de 2,5% a 4%. As características mais importantes desses aços são as seguintes: possuem alta resistência mecânica; elevada resistência à corrosão sob tensão, o que os torna extremamente atrativos ao mercado de plataformas offshores, entre outras coisas. [6]

2.4 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

A composição química dos aços inoxidáveis austeníticos, martensíticos, ferríticos, endurecidos por precipitação e duplex são dadas de acordo com as nomenclaturas adotadas pela ABNT, ASTM e USN. Vide apêndice A.

3 - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS:

O maior desafio na fabricação de aços inoxidáveis, é a redução do teor de carbono por oxidação na presença de cromo. O cromo é um elemento muito reativo, e pode se combinar com o oxigênio e ser incorporado pela escória. Com a perda de cromo para escória, o rendimento do processo de fabricação diminui.

Devido às altas concentrações de cromo, a fabricação dos aços inoxidáveis é, primordialmente governada pelo equilíbrio termodinâmico das reações do oxigênio com o carbono e o cromo.[29] O gráfico reproduzido na figura 01 mostra as condições de equilíbrio da reação $2\text{Cr} + 3\text{CO} = \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{C}$ assumindo-se a presença de Cr_2O_3 puro ou escória saturada neste óxido.

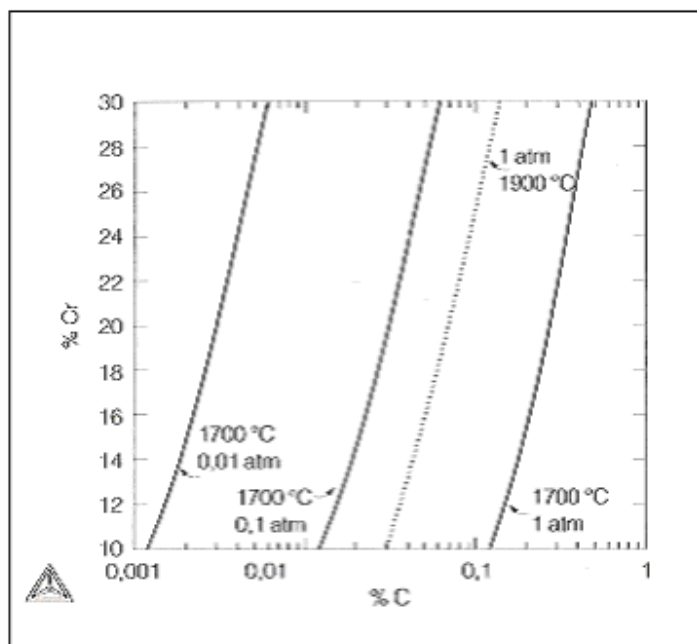


Figura 01: Condições de equilíbrio da reação $2\text{C} + 3\text{CO} = \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{C}$ [29]

No gráfico reproduzido na figura 01, cada linha representa o equilíbrio para uma dada condição de pressão e temperatura. Uma vez fixada a temperatura e a pressão, os pontos à esquerda da linha representam condições em que o cromo será oxidado. Nestas condições não é possível reduzir o teor de carbono do aço sem perda de cromo para a escória. Os pontos à direita da linha representam condições em que o carbono será oxidado sem que haja perda de cromo para a escória. Analisando o

gráfico reproduzido na figura 01, podemos concluir que a oxidação do cromo depende fortemente da temperatura e da pressão parcial de CO. Logo, o processo de descarburização de aços inoxidáveis, constitui a etapa mais crítica do refino destes aços, isso porque a descarburização ocorre por meio da injeção de oxigênio no banho metálico, que reage com o carbono através da reação ($C + O = CO$) reduzindo o teor de carbono do banho, porém o oxigênio também pode reagir com o cromo, para formar um óxido estável através da reação ($2Cr + 3O = Cr_2O_3$), provocando a perda de cromo para a escória. Passou-se então a concentrar maiores esforços no desenvolvimento de métodos para realizar a descarburização dos aços inox de maneira que a perda de cromo para a escória fosse a mínima possível. [29]

3.1 - EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO:

Inicialmente, fusão, redução, refino e acerto de composição eram realizados em um único forno. Com o advento do O_2 em grandes tonelagens, conseguiu-se atingir valores de carbono inferiores a 0,08%. A crescente demanda de aços inoxidáveis, especialmente os de extrabaixo carbono (tipo 304L, 316L e outros) forçou um grande desenvolvimento nos processos de fabricação dos aços inoxidáveis. Na década de 1960, surgiu o refino de corridas com elevado teor de cromo sob vácuo, utilizando-se duas unidades metalúrgicas separadas, chegando a teores de carbono inferiores a 0,005%. Mais tarde, com a produção do argônio em escala industrial, os processos de “refino a gás” possibilitaram a redução da utilização do custoso Fe-Cr baixo carbono, na fabricação de aços inoxidáveis. A fusão da carga passou a ser realizada num forno elétrico de alta potência e o refino, numa unidade de vácuo ou de sopro combinado. Os métodos mais tradicionais para fabricação de aços inoxidáveis são o AOD (*Argon-Oxygen-Decarburization*) e o VOD (*Vacuum-Oxygen-Decarburization*). [43]

3.2 - MÉTODOS AOD E VOD

3.2.1 Método AOD (*Argon-Oxygen-Decarburization*):

Este método consiste na injeção de uma mistura de oxigênio e argônio soprada diretamente no banho por meio de tubeiras. O efeito da injeção desta mistura é a formação de bolhas com pressão parcial de CO muito baixa que, sob o aspecto termodinâmico, tem o mesmo efeito que uma redução da

pressão (o gás inerte dilui o CO nas bolhas ascendentes, reduzindo a pressão parcial de CO). A proporção da mistura de gases e a profundidade do banho devem ser tais que as bolhas deixem o aço ao se aproximarem do equilíbrio da reação ($C + O = CO$). Os elevados índices de reação deste conversor e as altas velocidades de descarburização permitem o uso de teores mais altos de carbono no forno primário.[29] A figura 02 mostra o esquema de um conversor AOD.

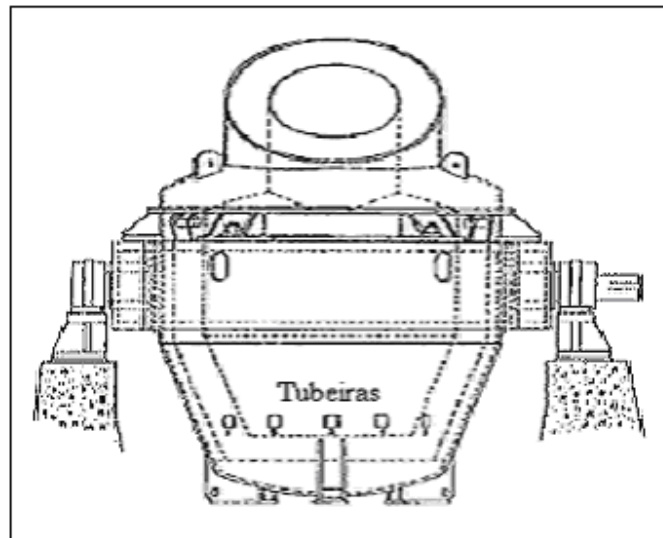


Figura 02: Esquema do conversor AOD, mostrando as tubeiras e o apoio dos munhões. [43]

3.2.2 Método VOD (*Vacuum-Oxygen-Decarburization*):

Este método é mais indicado quando se deseja um aço com baixas concentração de carbono, nitrogênio e hidrogênio. O oxigênio é soprado sobre o aço, sob vácuo. O processo VOD, permite atingir rendimentos de cromo acima de 97%, e teores de carbono menores que 0,012%, além de somente necessitar do forno elétrico a arco como instrumento de fusão.[29] A figura 03 mostra o esquema de um forno VOD.

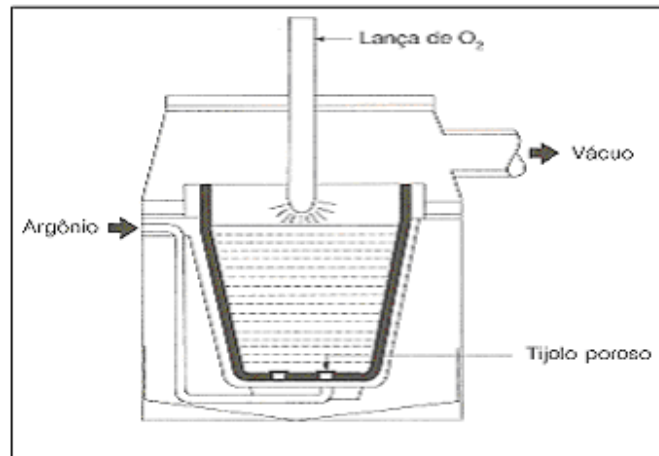


Figura 03: Esquema de um forno VOD [29]

No VOD, o refino e a subsequente redução, ocorrem na panela colocada numa câmara de vácuo. [29] O oxigênio é introduzido por uma lança, que atravessa a tampa da câmara e o argônio é injetado por um tampão poroso, situado no fundo da panela para agitar o banho. O refino é controlado variando-se o fornecimento de oxigênio, à distância da lança ao banho e o fluxo do gás inerte. Baixando-se a pressão a menos de 100000 N/m^2 (1 mbar), a pressão parcial do CO é gradualmente reduzida e pode-se obter baixos níveis de carbono, com pequena perda de cromo para escória. [29,43]

3.3 - FABRICAÇÃO EM USINAS INTEGRADAS E SEMI-INTEGRADAS

Os aços inoxidáveis podem ser fabricados tanto em usinas integradas, como em usinas semi-integradas. As usinas integradas são aquelas que operam utilizando as três etapas básicas: redução, refino e laminação. Já as semi-integradas, são aquelas que operam utilizando apenas duas etapas: refino e laminação. Estas usinas partem de ferro gusa, ferro esponja ou sucata metálica adquiridos de terceiros, para fabricação de aço (em aciarias elétricas).

3.3.1 Matérias-primas para fabricação em usinas integradas

As usinas integradas utilizam o alto-forno para reduzir o minério de ferro. As matérias-primas básicas utilizadas em usinas integradas são o minério de ferro (sinter/pelotas), fundentes e carvão (mineral ou vegetal). [25,27]

A sinterização consiste em, após misturar e homogeneizar um conjunto de matérias-primas, com umidade adequada e um certo teor de combustíveis, submeter à mistura a uma semifusão à temperatura da ordem de 1200 a 1400° C. A sinterização é, portanto, um processo de aglomeração de finos de minérios de ferro e outras matérias-primas complementares, com a finalidade de ser consumido no alto-forno. A pelletização, por sua vez, é o processo de aglomeração de ultrafinos. A faixa de distribuição granulométrica ideal para o uso do minério na sinterização é de 6 a 0,15 mm enquanto na pelletização esta faixa se situa entre 0,2 e 0,010 mm. [26]

Os fundentes, por sua vez, são materiais cuja composição química é tal que, quando adicionados à carga de um forno metalúrgico, reagem com seus constituintes indesejáveis, formando compostos estáveis que, no próprio aparelho ou em processos subsequentes, se separarão do banho metálico, para constituírem a escória do processo em questão. O carvão é o elemento utilizado como redutor.[27]

Após a etapa de redução no auto-forno, na aciaria são adicionadas as demais matérias-primas para fabricação do aço inoxidável como: ligas de cromo, ligas de níquel, ligas de molibidênio, sucata de aço inox e outras, dependendo do tipo de aço inoxidável que se deseja produzir.

3.3.2 Processo de fabricação da Acesita (Arcelor Mittal Inox Brasil)

A Acesita é uma Siderúrgica Integrada, com processo de fabricação que parte da redução do minério de ferro, com carvão vegetal e coque, em seus dois Alto Fornos e minério de cromo no Forno Elétrico de Redução. [3] São descritas as etapas do processo de fabricação de aços inoxidáveis da Acesita.

Redução: Na etapa de redução no auto-forno o minério de ferro, carvão vegetal e coque são convertidos em ferro-gusa.

Aciaria: O Gusa produzido no Alto-Forno é transportado para a Aciaria, onde recebe tratamento de dessiliciação, desfosforação e dessulfuração. Em seguida o metal líquido é vazado no Convertedor de Sopro Combinado MRPL/AOD (descarburação com oxigênio e argônio através de tubeiras) para que a

descarburação seja feita de maneira que as perdas de cromo por oxidação sejam mínimas. Posteriormente, o metal líquido é vazado no Forno Panela, que é utilizado para manutenção da temperatura e acertos finais da composição química. Após o tratamento de refino, o aço inoxidável líquido é transformado em placas, tarugos ou lingotes, através do lingotamento contínuo.

Laminação de barras: Os lingotes são enviados para a Laminação de Barras, que após reaquecimento nos Fornos Poços, são laminados nos dois Trens de Laminação, até a dimensão solicitada pelos clientes.

Laminação de tiras a quente: As placas, ao saírem do lingotamento contínuo, vão para a Laminação de tiras a quente que, após reaquecimento, são laminadas, produzindo bobinas a quente e chapas grossas.

Laminação a frio de aço inox: A laminação a frio de aço inox é realizada através de equipamentos como: fornos box, laminadores Senzimir, esmeriladoras de bobinas e Laminador de encruamento, que transformam as bobinas a quente de aço inox, em bobinas laminadas a frio. Posteriormente as bobinas são beneficiadas e cortadas.

Todas as etapas do processo de fabricação de aços inoxidáveis realizadas pela Arcelor Mittal Inox Brasil em sua planta localizada na cidade de Timóteo, no Estado de Minas Gerais, estão representadas na figura 04.

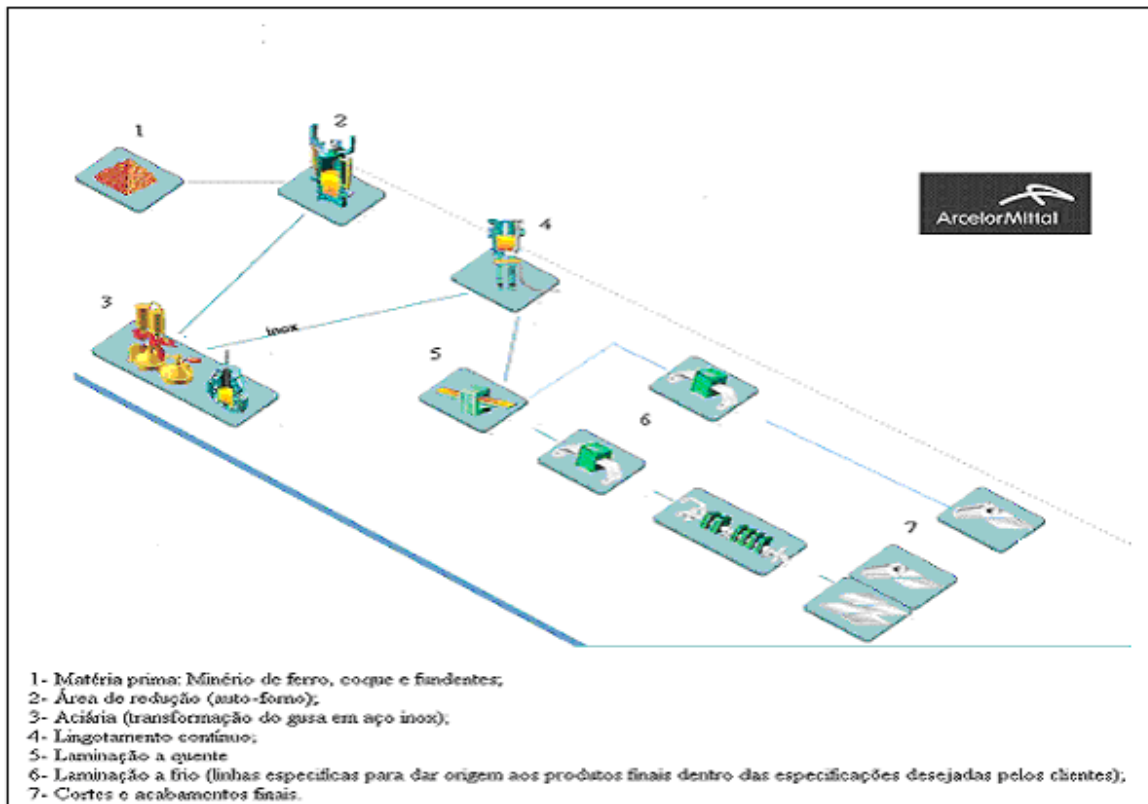


Figura 04: Fluxo da produção de aços inoxidáveis da ArcelorMittal Inox Brasil [3]

3.3.3 Matérias-primas para fabricação em usinas semi-integradas

As usinas semi-integradas não realizam a etapa de redução, partindo de misturas de ferro-esponja, gusa (em pequenas quantidades), sucata de aço inoxidável (principal material-prima) e algumas ferro ligas (de cromo, níquel, molibdênio e outras) para a fabricação do aço inoxidável.[29]

3.3.4 Processo de fabricação em usinas semi-integradas

O processo de fabricação de aços inoxidáveis em usinas semi-integradas tem início em fornos elétricos a arco (FEA), onde ocorre a fusão da sucata de aço inoxidável e diferentes ferroligas (de cromo, níquel, molibdênio e outras, dependendo do tipo de aço inoxidável que se deseja fabricar). Esta fusão acontece devido ao calor gerado pelo arco elétrico entre os eletrodos de carbono (grafita). O metal (aço inox) se deposita no fundo do cadinho do forno, e após a fusão, é vazado em um segundo reator,

uma vez que, o FEA é um bom reator para fusão de sucata, porém, é inapropriado para reduzir o teor de carbono do banho até os níveis que são exigidos para o aço inoxidável.[29]

O método VOD (*Vacuum Oxygen Decarburization*) e o método AOD (*Argon Oxygen Decarburization*) são processos mais econômicos para se reduzir o teor de carbono, uma vez que o tempo de operação é menor e as temperaturas são mais baixas que as do FEA. Adicionalmente, o uso do VOD ou do AOD aumenta a disponibilidade do FEA para a fusão de sucata, além de possibilitar o ajuste final da composição da liga que está sendo produzida. Depois da descarburização utilizando o método AOD ou o método VOD, o processo torna-se muito parecido com os das usinas integradas. É feito qualquer acerto da composição química até que se atinja níveis aceitáveis e posteriormente, o aço inox é vazado em tarugos, por meio de lingotamento contínuo, seguindo para a unidade de tratamento termomecânico que irá conferir-lhe sua forma final. [28]

3.4 - INOVAÇÕES NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Com o aumento do consumo de aço inoxidável pela sociedade, as indústrias vêm investindo pesado no desenvolvimento de novas técnicas e processos para fabricação deste aço. Estas novas técnicas e processos, estão fazendo com que o rendimento dos processos de fabricação sejam maiores e em alguns casos, proporcionam propriedades específicas ao aço inox. No presente trabalho, são apresentadas as seguintes inovações: A utilização da ferramenta termodinâmica computacional na produção de aço inox; processamento de aço inox duplex em moinho planetário.

3.4.1 Ferramenta termodinâmica computacional na produção de inox

No decorrer das operações de refino dos aços inoxidáveis, a perda do cromo para a escória, por oxidação, pode ocorrer muito facilmente devido ao fato deste elemento ser menos nobre que os demais. O cromo é um insumo caro para a aciaria logo, é muito importante aumentar a eficiência do controle operacional e o rendimento deste metal. Ter informações sobre os dados termodinâmicos a respeito de equilíbrios envolvendo sistemas tem desempenhado um papel fundamental para redução da perda de cromo por oxidação, embora ainda persistam incertezas na literatura a respeito de determinados valores.

A termodinâmica computacional é uma ferramenta apropriada para aprimorar o controle do Cr durante a produção, sendo capaz de disponibilizar informações básicas sobre soluções e concentração de seus respectivos constituintes, em um sistema complexo (multifásico), a uma determinada temperatura e pressão. Porém, é preciso comparar os resultados obtidos pelo software com aqueles resultados que se obtêm por meio de equações e dados termodinâmicos da literatura. Desta forma, é possível garantir a credibilidade necessária para aceitar resultados de simulações envolvendo sistemas mais complexos. Deve-se ter consciência de que, na prática, todos os prognósticos termodinâmicos ainda dependem de uma cinética micro ou macroscópica favorável para serem verdadeiros. [30]

3.4.2 Processamento de aço inoxidável dúplex em moinho planetário

Aços inoxidáveis dúplex são constituídos por uma mistura de ferrita CCC e austenita CFC. Possuem um limite de escoamento duas vezes maior que os dos aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos, além de maior plasticidade e tenacidade que a dos martensíticos e dos endurecíveis por precipitação. Entretanto, esses aços solidificam-se formando uma microestrutura lamelar com propriedades anisotrópicas.[31] Com base neste fato, pesquisadores da Universidade Estadual de Ponta Grossa, desenvolveram um método de fabricação de aços inoxidáveis dúplex por meio de moagem de alta energia, realizada em um moinho planetário, que possibilita a fabricação de aço inoxidável dúplex de grãos homogêneos equiaxiais. A seguir, são dadas as definições de moagem de alta energia e a de moinho de bolas do tipo planetário.

Moagem de alta energia - É uma técnica de processamento de pó que permite a fabricação de materiais homogêneos a partir de misturas de pós elementares, sendo que estes são submetidos a elevadas forças energéticas compressivas de impacto. A interdispersão dos ingredientes da mistura ocorre por um processo que envolve soldagem sob pressão e fratura das partículas do pó.

Moinho de bolas do tipo planetário - É assim denominado devido ao movimento dos seus frascos, ser parecido ao movimento dos planetas. Estes frascos são arranjados em um disco de suporte rotacional e um mecanismo especial de movimento faz com que eles girem ao redor dos seus próprios eixos. Como os frascos e o disco de suporte giram em direções opostas, as forças centrífugas atuam alternadamente. Isto faz com que as bolas de moagem se choquem com as paredes internas do frasco.

Para fabricar o aço inox austenítico homogêneo de grãos equiaxiais, os cavacos do material sem tratamento térmico são submetidos à moagem por 24 horas. Posteriormente, através de prensagem, são obtidas pastilhas, que depois são submetidas a tratamentos térmicos a 1200°C por 30, 60, 180 ou 240 minutos (dependendo das propriedades que se deseja alcançar). Após o tratamento térmico o resfriamento do aço é realizado ao ar.[31]

4 - PRODUÇÃO E MERCADO DE AÇOS INOXIDÁVEIS

4.1 - PRODUÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS NO BRASIL

A produção de aço inox no Brasil vem se expandindo desde de 1950 a taxas médias anuais situadas em torno de 6%. [6] O gráfico reproduzido na figura 05 mostra a evolução da produção de aço inox no Brasil entre 2000 e 2008.

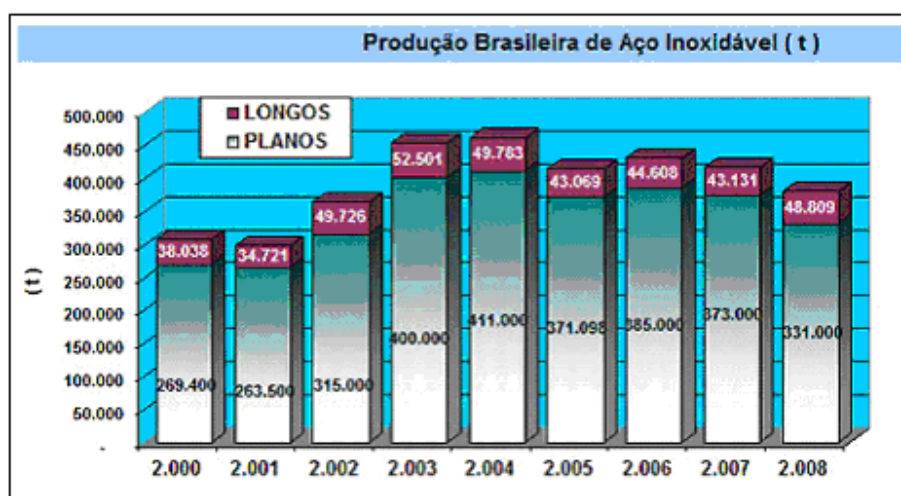


Figura 05: Evolução da produção brasileira [4]

A queda da produção verificada nos anos de 2005 e 2006 foi provocada pelo aumento excessivo do preço do níquel. Este foi o maior aumento verificado nos últimos 50 anos. Já em 2007 a produção de aço inox voltou a crescer devido à redução no preço do níquel.

A produção mundial de inox caiu 1,8% no primeiro semestre de 2008, segundo a ISSF (International Stainless Steel Forum), entidade mundial dos fabricantes de aço inox. A queda foi generalizada em todo o mundo, porém o Brasil está entre os principais mercados que deverão apresentar crescimento no consumo de inox, em 6 a 8% no ano de 2009. [6]

Em 2007, a cadeia do inox movimentou cerca de US\$ 3,5 bilhões no Brasil, um crescimento de 12,5% no consumo. [6] O gráfico reproduzido na figura 06 mostra o consumo aparente em toneladas, de

1999 a 2008. Como pode ser observado na figura 06, o consumo aparente apresentou neste período uma taxa média de crescimento de 8,4% ao ano. Em 2008 o consumo aparente de aço inox ultrapassou a marca de 350.000 toneladas.

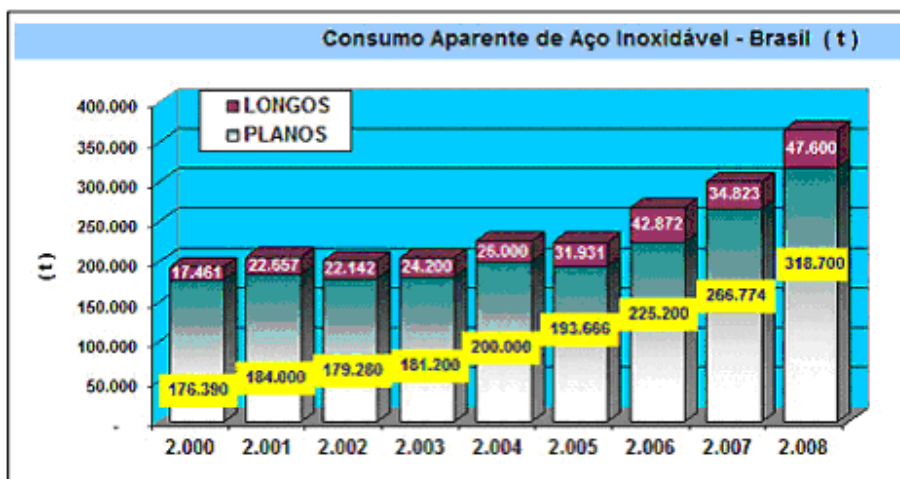


Figura 06: Evolução do consumo aparente no Brasil [4]

Como é mostrado no gráfico reproduzido na figura 07, o consumo per capita no país vinha se mantendo estável ao longo dos anos, e a partir de 2006 começou a ter um crescimento considerável, atingindo um pico bem acentuado em 2008. O consumo por habitante.ano que era da ordem de 1 quilo em 2000, atingiu em 2008 a marca de 1,95 kg. hab. ano, evidenciando uma crescente necessidade de aço inoxidável.

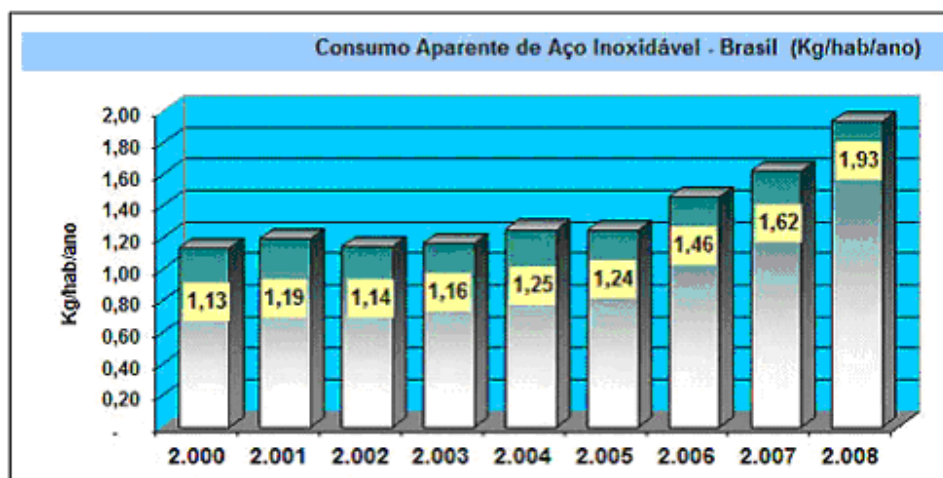


Figura 07: Evolução do consumo per capita no Brasil [4]

É importante, contudo, destacar que estas taxas de crescimento do consumo apresentaram níveis muito expressivos nos últimos dois anos. Porém, o consumo per capita nacional ainda é muito baixo quando comparado ao de países desenvolvidos e até mesmo os com níveis de desenvolvimento similares ao do Brasil. A média mundial de consumo per capita em 2007 foi de 5,4 kg por habitante/ano, enquanto no Brasil, no mesmo período, atingiu-se 1,62 kg por hab/ano.

4.1.1 Principais empresas produtoras de aços inoxidáveis no Brasil

No parque siderúrgico brasileiro os principais fabricantes de aços especiais, onde se enquadra o aço inoxidável são: a Acesita, o Grupo Villares e o Grupo Gerdau. [6]

Arcelor Mittal – Acesita: Atualmente a Acesita se destaca como uma das principais, se não a principal produtora de aços especiais do Brasil, estando hoje associada ao maior complexo siderúrgico mundial, o grupo europeu Arcelor-Mittal, o que afirma a presença da Acesita no mundo como referência na produção de aços planos especiais. A Arcelor-Mittal é o principal produtor de aço no Brasil, seguida de perto pelo Grupo USIMINAS e pela Gerdau, além de ser o maior do mundo em volume de aço produzido. [1] A Acesita é possuidora da única usina integrada de produção de aços inoxidáveis e siliciosos da América Latina. Hoje, a escala de produção da Acesita está ajustada de acordo com os padrões globais. Além de a empresa suprir o mercado brasileiro, ela exporta mais da metade da sua produção total de aço inoxidável por intermédio da estrutura de distribuição mundial do grupo Arcelor. O fato de a grande parte da produção de aço inox produzida pela Acesita ser exportada não significa perda de participação ou desabastecimento do mercado interno. O volume e a escala da produção dão a Acesita a possibilidade de atuar no comércio mundial de inox, cujos os produtos chegam a todos os continentes, entre os principais a Europa, Ásia e América do Norte.[4]

Grupo Villares: A Villares Metals, hoje subsidiária brasileira da Böhler-Uddeholm, é uma siderúrgica semi-integrada. Siderúrgicas são chamadas de "integradas" quando produzem aço a partir do minério de ferro. A Villares Metals é semi-integrada, porque utiliza sucatas e ferros-liga para produzir seus aços especiais e por isso, também é chamada de "recicladora". Um de seus principais concorrentes no Brasil é o grupo Gerdau. Em 2007, a Villares Metals, registrou um recorde: fabricou 85 mil toneladas de produtos, 7,4% de aumento em relação a 2006. A produção gerou receita líquida de US\$ 492 milhões e

US\$ 73 milhões de lucro líquido. A razão do sucesso da empresa é a sua competência na produção dos chamados aços especiais de alta liga. Os aços da Villares Metals concorrem, com sucesso, no mercado internacional. Entre esses aços especiais produzidos pela Villares Metals, está o aço inox, que neste caso é voltado para aplicações como: cutelaria, artigos de cozinha, implantes cirúrgicos e plataformas petrolíferas e aeronaves. O aço que a Embraer usa no trem de pouso de seus aviões é desenvolvido e produzido pela Villares Metals. É a única empresa instalada no Brasil que tem certificação da Embraer para fornecimento de aços especiais. [19]

Grupo Gerdau: O grupo Gerdau ocupa hoje a 13ª posição no ranking dos produtores de aço mundial, e, além disso, é líder no segmento de aços longos nas Américas. Atualmente possui 337 unidades industriais e comerciais, além de cinco *joint ventures* e quatro empresas coligadas, o que proporciona a empresa estar presente em 14 países: Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Colômbia, Espanha, Estados Unidos, Guatemala, Índia, México, Peru, República Dominicana, Uruguai e Venezuela. No Brasil o Grupo Gerdau começou a operar em 1901, na fábrica de Prego de Pontas de Paris, na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A empresa é fornecedora de aço para os setores da construção civil, indústria e agropecuária. Além de produzir aços comuns, a Gerdau após adquirir a Aços Finos Piratini, empresa sediada em Charqueadas, no Rio Grande do Sul em 1992, passou também a fabricar aços especiais entre os quais estão os aços inoxidáveis ferríticos, martensíticos e austeníticos.[20]

4.1.2 Mercado brasileiro de níquel

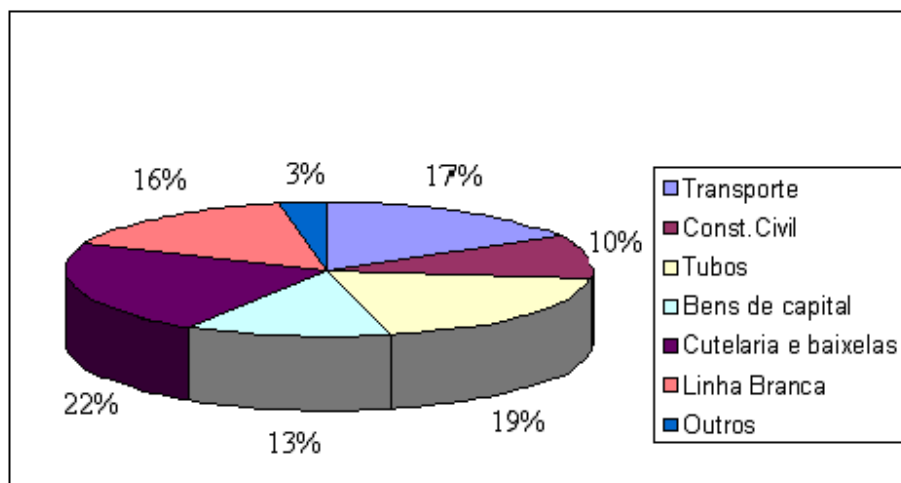
Por volta de 65% a 70% da produção de níquel é hoje utilizada na fabricação de aço inoxidável, sendo o restante utilizado para a confecção de baterias, catalisadores e outras ligas. Há muitas formulações para o aço inoxidável e por volta de 70% delas, têm o níquel como um dos principais constituintes. Devido a este fato, o preço do aço inoxidável está diretamente relacionado com o preço do níquel, que representa de 27% a 30% dos custos totais diretos. Hoje, o Brasil é responsável por 4% da produção mundial de níquel e em 10 anos deve atingir 11% do mercado mundial. Segundo especialistas, no Brasil, o mercado de níquel pode tranquilamente ainda gerar dois ou três ciclos de projetos para o setor da Siderurgia. De acordo com dados recentes, o País possui por volta de 17 milhões de toneladas de níquel contido nos recursos minerais, volume este que pode ser comparado ao de países como Rússia e Austrália. [10]

4.1.3 Mercado brasileiro de aços inoxidáveis

No mercado brasileiro, nenhuma fabricante de aço inoxidável anunciou cortes na produção para o primeiro trimestre do presente ano de 2009, devido ao crescimento acumulado de aproximadamente 15% durante o ano de 2008. Entretanto os primeiros efeitos da desaceleração do crescimento causado pela crise financeira mundial já começaram a serem sentidos, um exemplo disso é o fato da ArcelorMittal Inox Brasil, que está programando um sistema de férias coletivas em diferentes unidades. A queda dos pedidos feitos às empresas fabricantes de aços inoxidáveis no Brasil chega a atingir valores entre 20% e 40%. Em outubro de 2008 a Companhia Vale do Rio Doce, fornecedora da matéria prima para a fabricação de aço inoxidável, anunciou uma redução na sua produção de minério de ferro e níquel. Mesmo assim, no que diz respeito à produção de aço inoxidável, o Brasil está hoje em melhor situação que os países da Europa e os Estados Unidos, porém, estamos em período de baixa demanda. Foi observado também que até novembro de 2008 o setor se comportou bem, porém em dezembro do mesmo ano, já foram constatadas quedas relevantes na demanda, com isso, muitos produtos devem permanecer por muito tempo em estoque ao longo de todo o ano de 2009. [6,10]

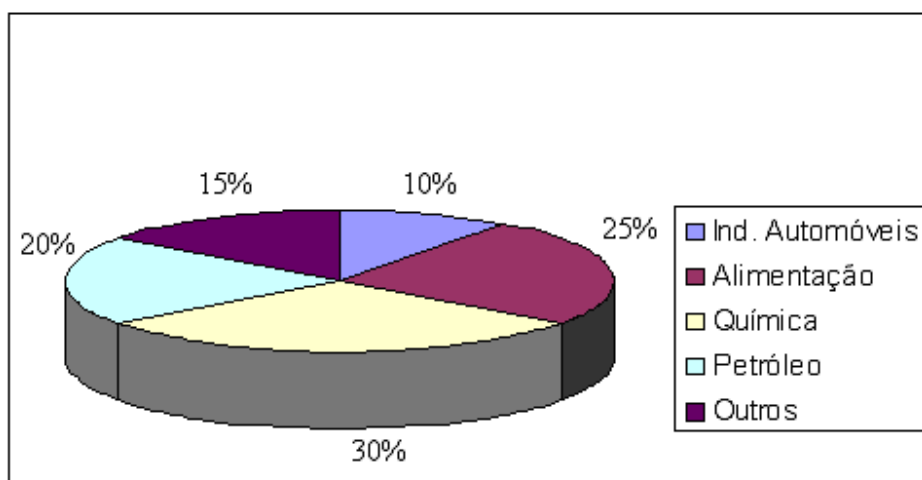
O gráfico 01, construído com dados do BNDES [6], mostra o consumo de produtos planos de aço inoxidável no Brasil, por setor da indústria em 2006. Podemos perceber através da análise deste gráfico que os setores que mais consomem produtos planos de aço inoxidável no Brasil são: Cutelaria, tubos, transportes e produtos de linha branca, exatamente nesta ordem.

Gráfico 01: Consumo de produtos planos de aço inox por setor da indústria no Brasil (2006) [6]



O gráfico 02, construído com dados do BNDES [6], mostra o consumo de produtos longos de aço inoxidável no Brasil, por setor da indústria. Através da análise do gráfico 02, podemos concluir que os setores da indústria que mais consomem produtos longos de aço inoxidável no Brasil são os da indústria química e de alimentação, nesta ordem.

Gráfico 02: Consumo de produtos longos de aço inox por setor da indústria no Brasil (2006) [6]



4.1.4 Perspectivas para o mercado brasileiro de aços inoxidáveis

Apesar da atual crise financeira mundial, a expectativa é de que a demanda brasileira de aço inoxidável volte a aumentar. Para os próximos cinco anos, o crescimento do país, segundo previsões do BNDES, será superior a 4% ao ano, o que projeta um consumo aparente de aço inox de 2,3 kg/habitante/ano em 2013. De acordo com as previsões de especialistas, a indústria mundial de aço inoxidável pode ter uma queda de 6% em 2009, mas deve se recuperar no corrente ano, para retomar seu crescimento daí para frente. Portanto, apesar da complexidade do cenário econômico mundial, as perspectivas são boas. Será preciso ter de equilíbrio e estratégia, pois as crises também trazem novas oportunidades.[4]

4.2 - PRODUÇÃO MUNDIAL DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Apenas na última década (1998/2008), a produção mundial passou de 15 milhões de toneladas em 1998 para aproximadamente 26,5 milhões de toneladas em 2008. A produção mundial cresceu em média a um ritmo de 6% ao ano, desde 1950 até 2006, quando atingiu a marca de 28,6 milhões de toneladas. Os principais países produtores de aço inox são: a China, União Européia, Japão, USA, Índia, Coreia, Taiwan, Tailândia, Brasil e Canadá, onde as grandes empresas são: a Thyssen Krupp, Acerinox, ArcelorMittal, Nippon Nishing, Posco, Outokumpu, Xanxi Taigang e Yusco.[8]

A produção de aço inoxidável vai cair pelo terceiro ano consecutivo em 2009, à medida que as siderúrgicas consomem o estoque e a demanda enfraquece, de acordo com a CRU, empresa de pesquisas sediada em Londres. A produção vai cair menos 1%, depois do declínio de 7% no ano de 2008, a maior queda registrada nos últimos vinte anos. O preço do níquel, insumo mais importante utilizado na fabricação do aço inoxidável, teve uma redução de 65% nos últimos dois anos à medida que a produção de aço inoxidável caiu de 28,6 milhões de toneladas em 2006 para 26,5 milhões de toneladas em 2008. Esta queda ocorreu devido aos cortes realizados por grandes produtores, como a China, Japão, Estados Unidos da América e Taiwan.[9] A tabela 02 mostra a evolução da produção mundial ao longo dos últimos anos.

Tabela 02: Produção mundial de aço inox (t x 1000) [42]

Ano	Produção
2000	19706
2001	19048
2002	20772
2003	22701
2004	24613
2005	24336
2006	28575
2007	28496
2008	26501

A demanda de aço inox foi fortemente atingida no quarto trimestre de 2008 de maneira que as empresas estavam reduzindo o estoque tanto quanto possível. Muitas empresas siderúrgicas decidiram por uma redução na produção de aço inox nos últimos meses, e até mesmo, em alguns casos, tiveram

que desativar unidades em países como Estados Unidos e China. Porém, alguns analistas acreditam que os cortes na produção de aço inox estão sendo feitos em patamares maiores do que a queda efetiva da demanda. As empresas siderúrgicas têm anunciado uma redução nos pedidos de 20% a 40%, ao passo que os cortes na produção têm atingindo números entre 35% e 50%. Este desnível poderá ser percebido com maior clareza em meados de 2009, quando os preços voltarem a aumentar.[9] A tabela 03 mostra a evolução da produção por região entre 2006 e 2008.

Tabela 03: Produção mundial por região (t x 1000) [4]

Região	2006	2007	2008
Europa Ocidental / África	10000	8669	8255
Europa - Central e Leste	376	364	333
Américas	2951	2604	2315
Ásia sem China	9755	8994	8068
China	5299	7206	6943

A produção global de aço inoxidável na Ásia sem China diminuiu 10,3% em 2008. Ásia sem China e a China, contribuíram respectivamente com cerca de 31% e 27% do aço inox produzido no mundo. Nos últimos anos a China tem sido a força motriz do crescimento na produção do aço inoxidável. No entanto, em 2008, o país reduziu a produção de 3,6%. A segunda maior zona produtora de inoxidável, Europa Ocidental / África, apresentou uma diminuição na produção do aço inoxidável de 4,8% em 2008. A região das Américas diminuiu a produção bruta de aço inoxidável em 11,1%. A produção na região da Europa Central e Leste diminuiu 8,6%. No entanto, com uma produção de apenas 333.000 toneladas em 2008, a região da Europa Central e Leste continua a ter pouca expressão na produção mundial de aço inoxidável.

4.2.1 Grandes empresas produtoras de aço inox

Os gráficos reproduzidos nas figuras 08 e 09 mostram as principais empresas produtoras de aços inoxidáveis planos e longos respectivamente.

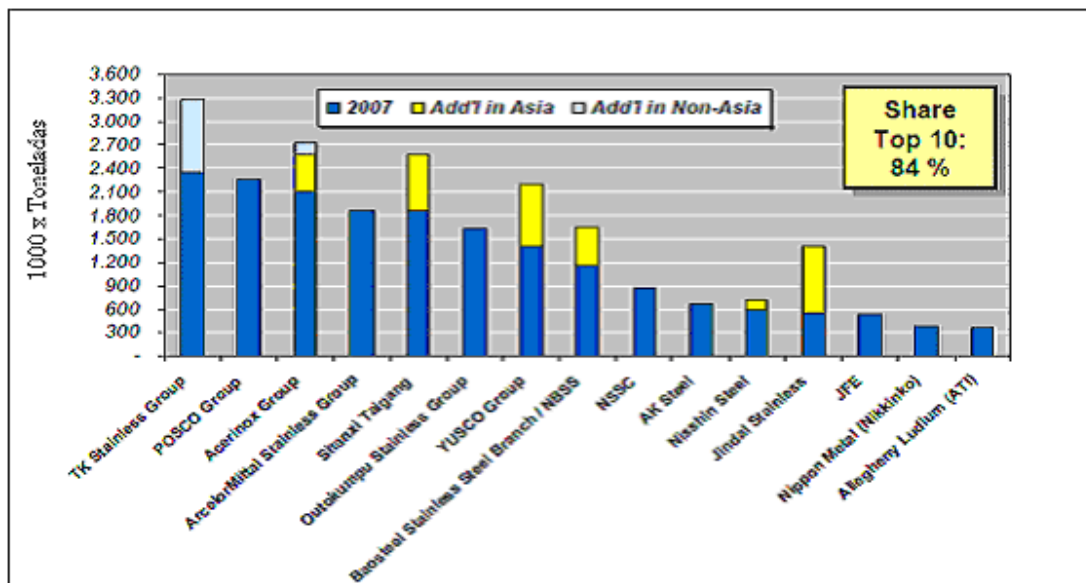


Figura 08: Principais empresas produtoras de aços inoxidáveis planos.[4]

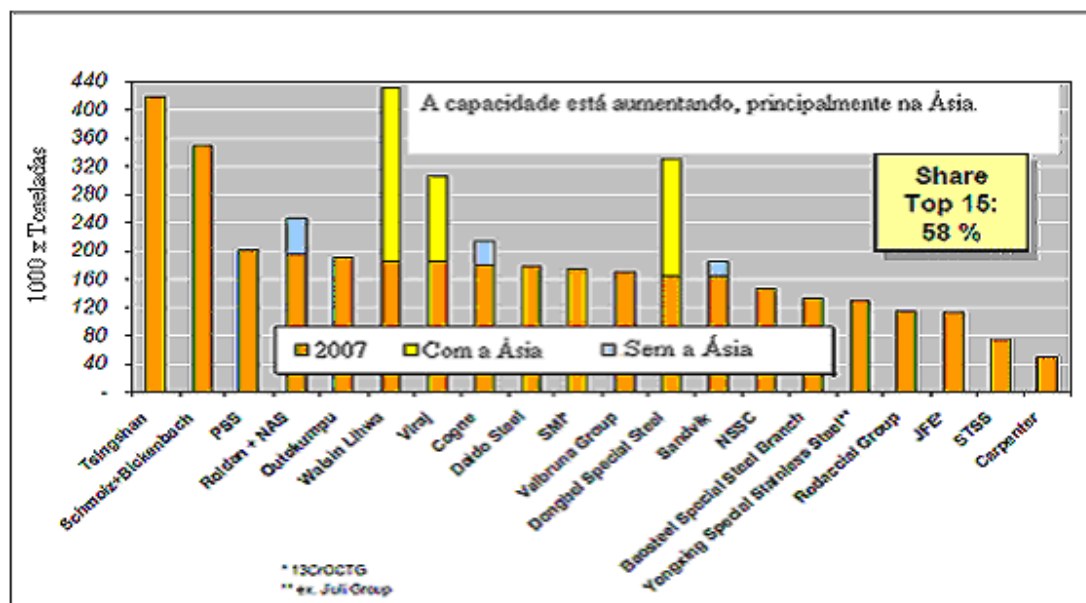


Figura 09: Principais empresas produtoras de aços inoxidáveis longos [4]

4.2.2 Mercado mundial de níquel

Como já mencionado anteriormente, o preço do aço inoxidável é baseado nos principais elementos que o integram como, ferro, cromo e níquel, e varia de acordo com a quantidade de cada um

desses. Porém, têm-se informações, que por volta de 70% dos aços inoxidáveis que são comercializados no mundo, possuem composição química na qual o níquel é um dos principais elementos de liga, o que torna o preço do aço inoxidável extremamente sensível ao preço do níquel, que por sua vez é controlado pela Bolsa de metais de Londres (London Metal Exchange).

O mercado de níquel sofreu muitas alterações nos últimos anos, sendo que, a partir de 2000, se tornou mais evidente o aumento de investimentos na produção de commodities incluindo o próprio níquel. De 2003 a 2007, este mercado teve um déficit de 30 a 40 mil toneladas e o valor do níquel subiu até atingir US\$ 50 mil/tonelada. Foi o maior valor do preço do níquel nos últimos 50 anos, com isso, os fabricantes de aço inox passaram a utilizar uma concentração menor de níquel na composição do metal. Com a chegada da crise financeira mundial no fim de 2008. Os gráficos representados nas figura 10 e 11 mostram o preço do aço inox e a porcentagem de níquel na produção total ao longo dos últimos anos. [10]

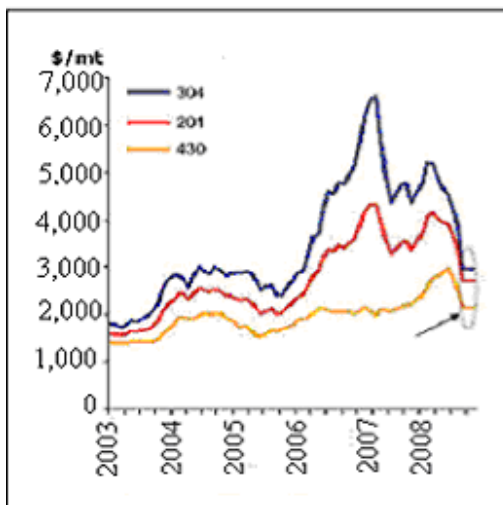


Figura 10: Preço do aço inoxidável [42]

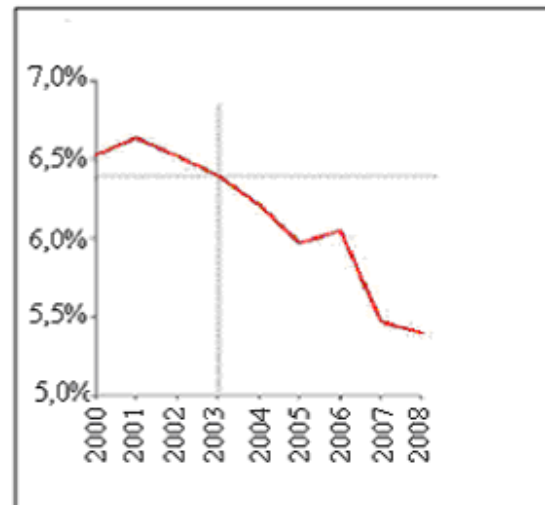


Figura 11: Porcentagem de níquel contido na produção total de aço inox (ferrítico e austenítico) [42]

4.2.3 Mercado mundial de aços inoxidáveis

Ao longo dos últimos anos, o mercado de aço inoxidável tem sofrido grandes mudanças quanto aos tipos de aços inoxidáveis produzidos. O aumento acentuado dos preços do níquel durante 2006 e 2007 motivou uma mudança no consumo, que migrou dos aços cromo-níquel para tipos com

menor teor de níquel ou sem níquel. Como resultado, os aços inoxidáveis ao cromo e cromo-manganês aumentaram sua participação na produção mundial, como mostra a Tabela 04.

Tabela 04: Participação das famílias de aço inox em 2008 (% do total) [22]

Tipo	1º trimestre	2º trimestre	3º trimestre	4º trimestre	Ano
cromo-níquel	63,2	60,7	59	57,9	60,5
cromo	26,3	27,8	30,2	28,6	28,1
cromo-manganês	10,5	11,5	10,8	13,5	11,4

Segundo especialistas, os principais mercados para o crescimento do consumo do aço inox são países como China, Vietnã, Índia, Rússia e Turquia. O crescimento mais alto é esperado para a China e Índia, com mais de 10%. O crescimento no Brasil é estimado na faixa entre 6 a 8%, semelhante ao da Turquia, Rússia e Canadá. A grande diferença entre China, Índia e o Brasil é que nesses dois primeiros a produção é impulsionada pela exportação de bens de consumo. [23] O gráfico reproduzido na figura 12 mostra os 10 maiores mercados de aço inox do mundo.

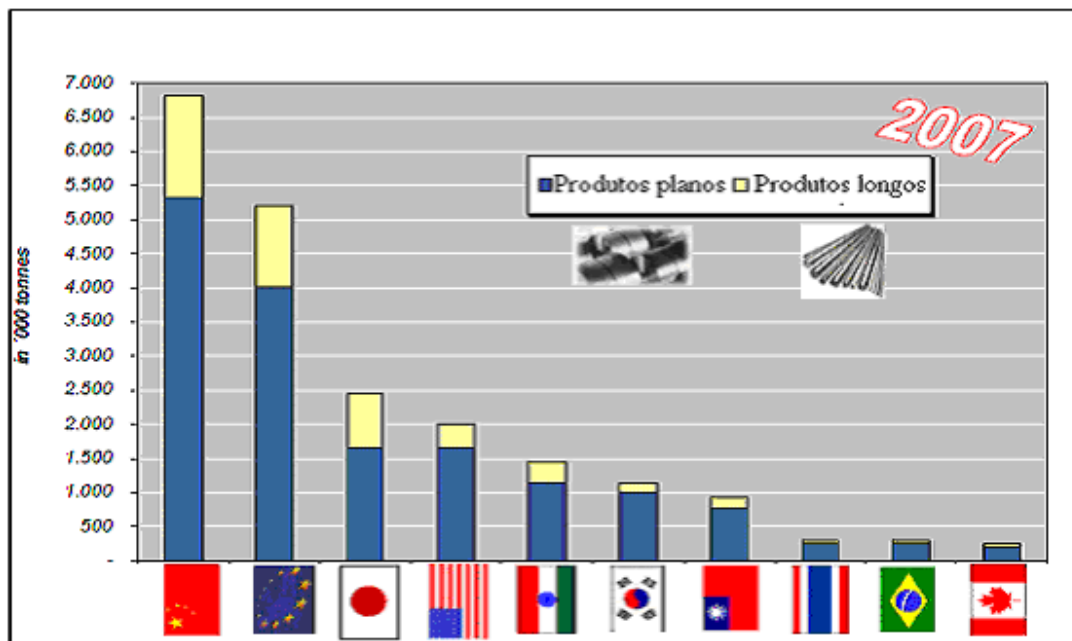


Figura 12: Os 10 maiores mercados de aço inox do Mundo (2007). [4]

Analisando o gráfico reproduzido na figura 12, podemos constatar que a China é o maior mercado de aço inoxidável do Mundo, seguida de longe pela União Européia, Japão e Estados Unidos

da América. O Brasil ocupa apenas o 9º lugar. A Tabela 05 mostra o fluxo do comércio externo de aço inoxidável em 2007.

Tabela 05: Fluxo do comércio externo de aço inoxidável em 2007 (T x 1000) [22]

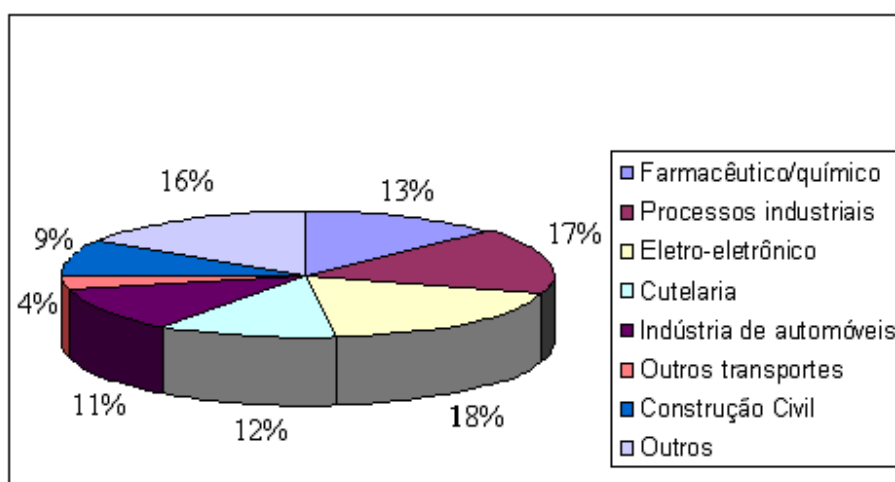
Origem	Destino								
	NAFTA	América Latina	Europa Ocidental	Europa Oriental	Oriente Médio	África	Ásia	Outros	Total
NAFTA	148.5	6.8	172.2	0.3	0.9	2.7	915.6	0.1	1,247.1
América latina	1.0	0.5	29.8	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	38.3
Europa Ocidental	0.7	0.0	1,760.5	68.2	2.4	1.7	614.6	0.7	2,448.9
Europa Oriental	0.1	0.0	475.1	48.5	0.1	0.0	46.2	0.1	570.0
Oriente Médio*	0.1	0.0	36.0	0.0	n/a	0.0	38.1	0.0	74.1
África	0.0	0.0	6.3	1.1	1.1	0.0	18.6	0.0	27.1
Ásia	0.5	0.0	20.1	0.0	0.5	0.0	855.3	0.0	676.5
Outros	0.2	0.2	4.2	0.0	0.1	0.2	93.4	0.3	98.5
Total	151.1	7.5	2,504.2	118.1	5.1	4.7	2,388.8	1.2	5,180.6

* Importações provenientes daquela região

A partir destes dados, podemos concluir que os maiores exportadores de aço inoxidável são os países da Europa ocidental e os países do NAFTA (destaque para EUA) e os maiores importadores são os países da Europa Ocidental e Ásia (destaque para China, Turquia e Japão).

O gráfico 03, construído com dados do BNDES [6], mostra o consumo mundial de aço inoxidável por setor industrial. Podemos constatar que os setores da indústria que mais consomem aço inoxidável são os de processos industriais e eletro-eletrônicos, nesta ordem.

Gráfico 03: Consumo mundial de aço inoxidável por setor da indústria (2006) [6]



4.2.4 Perspectivas para o mercado mundial de aços inoxidáveis

A produção mundial de aços inoxidáveis em 2009 deverá ser de 22 Mt/ano (-16% ano a ano), causando a queda da demanda por níquel em 11%, segundo Heinz Pariser, analista da Alloy Metals & Steel Market Research. A produção da União Européia este ano será de 6,2 Mt/ano (-21% ano a ano), a dos EUA de 1,5 Mt/ano (-22% ano a ano), a do Japão 2,6 Mt/ano (-26% ano a ano) e na Coreia/Índia/Taiwan a produção cairá para 4,1 Mt/ano (-8% ano a ano). De acordo com Pariser, a demanda de aços inoxidáveis terá uma recuperação a partir do segundo trimestre, e haverá uma retomada na produção das usinas no 3º e 4º trimestres de 2009 em direção a “níveis normais de produção”. Se esta previsão estiver correta, a produção de inoxidáveis pode voltar aos “níveis normais” em 2010.[4]

5 - APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

5.1 - APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA EM GERAL

Inicialmente os produtos de inox eram produzidos para serem utilizados em aplicações cujo requisito principal era a resistência a corrosão, porém devido ao seu forte apelo estético e por suas condições favoráveis à limpeza e higiene, o aço inoxidável passou a ser largamente utilizado nas mais diversas aplicações, como na construção arquitetônica, em instrumentos cirúrgicos, na indústria farmacêutica, na fabricação de móveis, em objetos de uso doméstico e a outros semelhantes. Os setores da indústria em que o aço inoxidável é utilizado são: Automobilístico, ferroviário, naval, agrícola, rodoviário, eletro-eletrônico, mecânico, construção civil, utilidades domésticas, embalagens e recipientes.

5.2 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

É dada uma justificativa sucinta para cada uma das aplicações citadas. Posteriormente, serão descritas algumas novas aplicações dos aços inoxidáveis.

5.2.1 Cutelaria

Sua superfície não-porosa e lisa (similar ao vidro) dificulta o acúmulo de resíduos de alimentos e faz com que seja limpo com mais facilidade, evitando assim a proliferação de bactérias nos utensílios. É o material ideal para aplicações em que existe este risco de contaminação (retenção de microorganismos dez vezes inferior em relação ao plástico ou aço esmaltado), contribuindo para a assepsia e a higiene necessárias à saúde e ao trato com alimentos. Também não altera o aroma, cor ou sabor dos alimentos e bebidas, por não desprender partículas metálicas, mesmo quando em contato por tempo prolongado. Além disso, talheres e utensílios de cozinha fabricados com aço inox, têm muito prestígio perante a sociedade, pelo seu tom de modernidade e beleza, que os tornam muito mais atraentes do que os produtos fabricados com outros materiais.[3] A tabela 06 mostra algumas aplicações deste segmento, assim como o tipo de aço utilizado.

Tabela 06: Aplicações do inox na cutelaria [3]

Aplicações	Tipos de aços
colheres, garfos e acessórios de cozinha	AISI 430 / AISI 304
Facas de mesa	AISI 420 / AISI 301
Facas profissionais	AISI 420 / DIN 1.4116 (ACE P49B)
Panelas e réchauds	AISI 304 / AISI 430
Jarras e utensílios de estampagem profunda	AISI 304 / AISI 430
Baixelas e utensílios diversos	AISI 304 / AISI 430

5.2.2 Construção Civil

Há mais de 80 anos, o aço inox vem sendo utilizado por arquitetos e engenheiros em diferentes aplicações de interiores e exteriores na construção civil. Sua aparência elegante e moderna é ideal para projetos que exigem qualidade, durabilidade e resistência, sem abrir mão da estética. Como o inox não necessita de revestimento ou qualquer outra proteção contra corrosão e mantém sua aparência original por muito tempo, este tipo de aço é uma excelente opção para aplicação em mobiliários urbanos, elevadores, escadas rolantes, painéis para revestimentos, corrimãos, pisos, pias, cubas e demais equipamentos domésticos. As principais características que justificam o seu uso neste segmento são: facilidade de adaptação ao projeto arquitetônico, uma vez que ele pode ser cortado, soldado e conformado de acordo com as especificações de arquitetos e engenheiros; facilidade de limpeza (água e detergente neutro aplicados com esponja macia, são geralmente suficientes para remoção da sujeira); baixo custo de manutenção; resistência mecânica elevada, quando comparado a outros tipos de aço (a resistência mecânica dos aços inoxidáveis é cerca de 20% maior do que a dos aços comuns, com isso, espessuras mais finas e seções menores podem ser usadas); ótima relação custo/benefício em comparação com materiais diversos.

5.2.3 Indústria Automotiva

Devido a sua boa soldabilidade (é função do tipo de aço inox; cada grupo está sujeito a diferentes tipos de problemas durante a soldagem. Vide tabela 01) e sua grande capacidade de conformação mecânica, os aços inox são utilizados na indústria automotiva, em peças diversas, nos sistemas de exaustão, em tanques e catalisadores, disco de freio, escapamentos, juntas, frisos, estruturas

de ônibus, vagões ferroviários, abraçadeiras, filtros de combustível e óleo, tanques de combustível e outros. [3,5] A tabela 07 mostra algumas aplicações deste segmento, assim como o tipo de aço utilizado.

Tabela 07: Aplicação do aço inox na indústria automotiva. [3]

Aplicação	Tipos de aço inox
Automotivo (Sistema de exaustão)	AISI 409 / UNS S43932 / AISI 441/ AISI 304/ AISI 304L

5.2.4 Indústrias Alimentícia e farmacêutica

Nas indústrias alimentícia e farmacêutica, o inox oferece uma série de vantagens, principalmente por permitir um alto grau de higiene, devido à sua quase inexistente rugosidade e, além disso, por possibilitar a preservação das características dos produtos como cor, sabor e cheiro. A baixa rugosidade do material permite que a limpeza de tanques e outros reservatórios seja mais eficiente, acessível e de baixo custo. [3,4] A tabela 08 mostra algumas aplicações deste segmento, assim como o tipo de aço utilizado.

Tabela 08: Aplicações do aço inox na indústria alimentícia e farmacêutica. [3]

Aplicações	Tipos de aço inox
Cervejarias e sucos	AISI 304 / AISI 316
Indústria farmacêutica	AISI 304 / AISI 316
Reservatórios de líquidos	AISI 304 / AISI 316 / UNS S44400
Tanques de armazenamento e resfriamento	AISI 304 / AISI 316 / UNS S44400

5.2.5 Bens de consumo duráveis

Em virtude de seu forte apelo estético, associado a sua alta resistência mecânica e a corrosão, o aço inoxidável torna-se uma excelente opção para produtos presentes no dia-a-dia como fogões, fornos microondas, fornos elétricos, refrigeradores, lavadoras de roupa e de louça e de outros bens de consumo duráveis. Sem dúvidas estes produtos têm vantagens e reconhecimento quando fabricados em inox, devido a sua beleza, versatilidade e modernidade. [3] A tabela 09 mostra algumas aplicações deste segmento, assim como o tipo de aço utilizado.

Tabela 09: Aplicação do aço inox em bens de consumo duráveis. [3]

Aplicações	Tipos de aço inox
Fogão (mesa, laterais, painéis e portas)	AISI 430 - AISI 304 - UNS S43932
Refrigerador (portas)	AISI 430 - AISI 304
Lavadoras e centrifugas (cesto e gabinete)	AISI 430 - UNS S43932
Microondas e fornos elétricos	AISI 430 - AISI 304 - UNS S43932
Coifas e depuradores	AISI 430 - AISI 304 - UNS S43932

5.2.6 Indústria de Componentes de máquinas e equipamentos

Sua resistência mecânica relativamente elevada, tanto à temperatura ambiente como a baixas temperaturas, faz com que sejam, utilizados em componentes de máquinas e equipamentos nos quais se exige alta confiabilidade de desempenho como, por exemplo, partes de aeronaves e mísseis, vasos de pressão, e componentes menores como parafusos e hastes. [3]

5.2.7 Equipamentos resistentes à oxidação

A elevada resistência à oxidação dos aços inoxidáveis em temperaturas mais elevadas, torna possível o seu uso em componentes de fornos, câmaras de combustão, trocadores de calor e motores térmicos. [3]

5.2.8 Moedas

O uso do inox neste caso se justifica pela sua elevada resistência à corrosão e ao desgaste mecânico.[3] No Brasil, a partir de 2000, as moedas de 50 centavos passaram a ser produzidas com aço inox. É fácil discernir as moedas que foram fabricadas antes e depois de 2000, pois o material utilizado na fabricação das moedas anteriormente, a liga cuproníquel, é bem mais pesado que o aço inox (moeda de inox – 6,80g / moeda de cuproníquel – 9,25g). As moedas de 1 real, a partir de 2002, também passaram a ser fabricadas com aço inox (parte central). O anel dourado externo é feito de aço revestido de bronze.

Outra vantagem das moedas de aço inox, é que elas não causam nenhum tipo de risco a saúde. As moedas revestidas de cobre, como as de 1 centavo e as de 5 centavos começam logo a se oxidar, e ao se decomporem, as ligas de cobre começam a escurecer imediatamente, devido à formação do carbonato de cobre, um terrível veneno na presença de umidade. O carbonato de cobre é tóxico e pode ser absorvido pela pele humana, a partir do contato, pelas mucosas (o cobre é um metal pesado e tóxico).

5.2.9 Móveis

A aparência brilhante e atraente dos aços inoxidáveis, que se mantêm ao longo do tempo com simples limpeza, associada a sua alta resistência mecânica, torna esses materiais adequados aos usos na construção arquitetônica, na fabricação de móveis e em vários objetos de uso doméstico. [3]

5.3 - DESCRIÇÃO DE ALGUMAS NOVAS APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

5.3.1 Uso do inox em sistemas solares

É crescente o uso de sistemas solares em todo o mundo e esta tendência pode ser justificada pela conscientização da sociedade moderna quanto à importância da sustentabilidade. Este trabalho tratará das possibilidades de uso do aço inox em sistemas solares para aquecimento de água. São três as possibilidades de aplicação do aço inoxidável em sistemas solares para aquecimento de água: em tanques externos, em estruturas de suporte de coletores térmicos e em tubulação para distribuição de água quente.[4]

No Brasil, o aço inoxidável é um material utilizado com certa constância pelos fabricantes de equipamentos termossolares. Em geral, é empregado nos reservatórios térmicos, recipiente onde também se usa o cobre. A principal vantagem da aplicação do inox em relação ao cobre nos reservatórios diz respeito à preservação da qualidade da água. A maior durabilidade dos reservatórios de aço inox possibilita o uso de chapas cerca de 50% menos espessas que as de cobre. Um exemplo prático desta aplicação ocorre em uma empresa fornecedora de sistemas de aquecimento de água por energia solar sediada em Belo Horizonte, a Pantho Industrial, que faz uso do aço inoxidável nos cilindros internos dos reservatórios térmicos, recipiente onde se armazena água quente. A empresa faz uso do inox AISI 304 e, em casos de águas mais agressivas, o AISI 316 e 316L. O uso do inox neste caso se justifica pelo fato

de serem materiais que apresentam boa resistência à corrosão, não contaminam a água, resistem bem à dilatação térmica e têm vida útil bastante longa, além de apresentarem boa soldabilidade.[4]

Outra possibilidade de aplicação das chapas de inox seria nas placas coletoras, item onde hoje as indústrias do setor fazem uso do alumínio pintado (de preto) para melhor absorção do calor. Na mesma situação, o inox apresenta maior resistência mecânica e à corrosão, o que significa maior durabilidade. Do ponto de vista econômico, o custo inicial das chapas de aço inox (tipos 304, 316 e 444) é mais elevado que o das chapas de alumínio. No entanto, quando se considera o custo ao longo do ciclo de vida desse material, a relação muda, principalmente em regiões mais agressivas como, por exemplo, zonas marítimas.[4]

O aço inox também pode ser utilizado na distribuição de água quente pela casa. Geralmente, tubos de cobre são utilizados, embora tenha crescido muito o uso de tubos de material polimérico especial. A popularidade dos tubos de cobre se deve principalmente à sua facilidade de união com conexões soldadas (na verdade, brasadas), usando um simples maçarico de GLP para a execução do serviço. No entanto, espera-se que os tubos de aço inoxidável venham a se tornar fortes competidores dos tubos de cobre no Brasil, a partir da implantação no País dos sistemas de união a partir de compressão por ferramentas pneumáticas ou elétricas, pois atualmente a única tecnologia disponível para este fim, é a soldagem, geralmente TIG, de custo elevado e realizada por profissionais especializados. Na verdade, os tubos de aço inoxidável têm preço de mercado inferior aos tubos de cobre e ainda possuem as vantagens de maior resistência mecânica, maior durabilidade, menor taxa de incrustação e a manutenção da qualidade da água transportada. [4]

5.3.2 Uso do aço inox no tratamento de efluentes

Tendo em vista que apenas 3% da água do planeta é potável, torna-se não só importante, mas indispensável o tratamento e a adaptação deste insumo quando utilizado na produção industrial, encaixando-o nos níveis de exigência requeridos. Na produção de remédios, por exemplo, a água deve ser pura a um nível que não se encontra natureza. No mercado cervejeiro a água assume um papel importantíssimo no que diz respeito ao sabor, uma vez que, se ela for mais ácida ou com maior concentração de sais minerais, pode resultar em bebidas completamente diferentes. Hoje, no Brasil com

o intuito de ser obter produtos similares em todo país, as empresas cervejeiras passaram a tratar toda a água utilizada, de maneira a criar um padrão constante. O aço inox tem se tornado uma ótima opção no tratamento de efluentes industriais, uma comprovação disso, é o fato de que várias empresas de tratamento de água estarem utilizando o material na fabricação de equipamentos críticos para purificar o fluido. Outra características importante que torna o aço inox uma excelente opção para este tipo de aplicação, é a facilidade de limpeza dos equipamentos, que pode ser realizada apenas utilizando água quente.[4]

Há empresas do ramo cervejeiro que utilizam água salobra, ou até mesmo quando se trata de uma ilha caribenha, por exemplo, onde não se encontra água doce, utiliza-se água dessalinizada. Justamente em casos onde se faz uso da água salgada, que o aço inox desempenha um papel fundamental no tratamento da mesma, já que esta situação exige o uso de equipamentos e estruturas que possuam elevada resistência à corrosão. [4]

5.3.3 Uso do aço inox em vagões para transporte de fertilizantes

Já é conhecido o uso do inox em ônibus e vagões de passageiros. No metrô a utilização do inox é inigualável, devido ao seu aspecto de limpeza, a alta resistência, aliada ao baixo peso. Porém, o segmento de carga ainda está muito ligado ao aço-carbono de alta resistência. Acesita em conjunto com a Lochpe-Maxion estão estudando a possibilidade de utilizar aço inox ferrítico, que não seria tão caro para fabricar vagões para transporte de cargas (fertilizantes). A VALE estaria disposta a colocar protótipos para testes. A justificativa para o emprego do inox neste segmento seria o fato dos fertilizantes serem um produto altamente corrosivo. A opção do inox pode se tornar mais barata, pois ganharia-se em termos de manutenção não sendo necessário gastos com pintura, jateamento e mão-de-obra.[1]

5.3.4 Aplicação do aço inox (P410D) em usinas sucroalcooleiras

Este tipo de aço foi inicialmente desenvolvido para aplicações estruturais, porém a literatura o indicava para aplicações antidesgaste. Após a realização de testes em laboratórios, foi ratificada a superioridade do P410D quando eram necessárias resistência a abrasão e a corrosão combinadas. Mesmo que o custo inicial seja maior do que os aços carbono, o seu uso é vantajoso, devido ao fato da sua vida útil ser muito maior. Os reflexos diretos são na vida útil dos equipamentos, reduzindo os gastos com manutenção e preservação da qualidade do açúcar.

A substituição dos aços da série 3XX pelos da série 4XX é cada vez maior dentro da estratégia da ArcelorMittal Timóteo. Isso está acontecendo devido à ausência ou ao baixo teor de níquel em sua composição química, reduzindo assim as variações de preço no mercado (o preço do níquel variou muito ao longo dos últimos anos). Apresentando um baixo teor de cromo (11%, o mínimo permitido) e uma concentração baixíssima de Níquel (0,35%), o P410D se tornou uma boa opção para aplicações onde são exigidas resistências a corrosão e ao desgaste simultaneamente.[21]

5.3.5 Outras novas aplicações do aço inoxidável:

Outras novas aplicações do inox são: em sistemas de cozimento, evaporação e secagem de celulose; tanques de armazenamento de suco de laranja e vinho; tubos flexíveis para exploração de petróleo; equipamentos para resfriamento de leite; além de fios com aços inoxidáveis duplex para aplicação em Ortodontia.

6 - RECICLAGEM DE AÇOS INOXIDÁVEIS

6.1 - GERAÇÃO DE SUCATA DE INOX

O termo sucata é empregado a todo tipo de material, produto ou resíduo, que após serem descartados sejam passíveis de reciclagem. De forma geral, a sucata de aço inoxidável pode ser obtida pela obsolescência de bens de consumo e capital. Pode ser gerada internamente (na própria usina), ou ser adquirida no mercado. No caso de a sucata ser adquirida no mercado, ela deve primeiro ser coletada e beneficiada antes de ser reaproveitada industrialmente. As sucatas de aços inoxidáveis podem ser classificadas em: sucata interna (doméstica), sucata industrial (de processo) e de obsolescência (sucata velha). [32,33,36]

Sucata doméstica (*Home Scrap, Circulating Scrap*) - É aquela gerada na usina produtora de aço inox, durante fabricação de seus produtos, que geralmente é redirecionada diretamente para o forno. Sua composição é bem conhecida e seu tratamento é simples, usualmente restringido à redução de tamanho e aumento de densidade. Por isso, geralmente se usam somente tesouras de sucata e prensas para este tipo de sucata.

Sucata industrial (*Prompt Scrap, Industrial Scrap*) - É aquela proveniente das sobras e aparas geradas pelos segmentos consumidores de aço inox (indústria automobilística, cutelaria, naval, construção civil e outros), trata-se de uma sucata de alta qualidade pela composição química conhecida e pela baixa quantidade de contaminantes. As dimensões e formas podem variar e, por isso, só é requerida a redução de suas dimensões e o aumento de sua densidade.

Sucata velha ou de obsolescência (*Obsolete Scrap*) - É proveniente da coleta de produtos no final de sua vida útil (automóveis, máquinas, eletrodomésticos e outros). É a mais difícil de especificar e tratar. Nem sua composição química nem suas dimensões ou densidades são uniformes. O alto valor da sucata de aço inoxidável, assim como a sua reduzida taxa de corrosão, garantem índices elevados de reciclagem após uma vida útil longa. Este tipo de sucata pode chegar em qualquer forma, dimensão e mistura.

6.2 - PROCESSAMENTO E RECUPERAÇÃO DAS SUCATAS

O processamento da sucata é uma atividade importante para o uso racional e econômico deste insumo. Ele começa na coleta e no transporte da sucata. A separação por tipo e o adensamento para transporte são procedimentos realizados na coleta, na maioria das vezes por empresas especializadas, também chamadas de “sucateiros”. Nos países altamente industrializados os diferentes tipos de sucata são separados e processados pelos sucateiros que por sua vez entregam a matéria prima pronta para ser introduzida no forno. Porém, em países menos desenvolvidos como o Brasil, o processamento final da sucata é geralmente feito na própria usina siderúrgica que adapta esta industrialização às suas necessidades e de acordo com a viabilização dos investimentos em equipamentos de processamento.[37] Existem diversas técnicas de processamento de sucata: corte com maçarico, enfardamento, cisalhamento, prensagem e retalhamento. Todas as técnicas de processamento de sucata têm por finalidade retalhar (dimensões dentro de certos limites), aumentar a densidade e limpar (alta pureza – ausência de contaminantes) a sucata, com o intuito de facilitar a sua fusão no forno elétrico a arco.

6.2.1 Corte com maçarico

Este método é usado para reduzir as dimensões de peças de sucata mais pesadas e para aumentar a sua densidade. Peças menores geralmente possuem densidade maior do que peças de grande tamanho. O corte com maçarico requer oxigênio e mão-de-obra, ambos itens com alto custo. A produtividade é muito baixa porém, o investimento também é baixo. Para peças de sucata extremamente pesadas, o corte com maçarico pode ser a única via aceitável. [44]

6.2.2 Enfardamento

O enfardado resulta em sucatas com menores dimensões e maiores densidades. Existem vários tipos de prensas de enfardamento, dependendo da planta que gera a sucata. Pode-se assegurar que o enfardamento de sucata é a forma de tratamento mais eficiente e barata. O material deve possuir composição uniforme e estar limpo, ou seja, não pode estar misturado com outros materiais. O enfardamento não melhora a pureza do material e, por isso, não é tão útil para sucatas mescladas ou

contaminadas. O enfardamento está geralmente limitado a sucata com materiais de até 5 mm de espessura. [44]

6.2.3 Cisalhamento

Este método reduz as dimensões e aumenta a densidade da sucata, preparado-a para a limpeza. O material é cortado e, durante a sua deformação, as impurezas podem ser separadas facilmente. Por esta motivo, um sistema de transporte e limpeza de sucatas cisalhadas se provou ser muito útil. Tal sistema consiste em um transportador vibratório com seções de telas e, se o material inclui peças grandes de materiais não metálicos ou de metais não-ferrosos, um tambor de separação magnética. [44]

6.2.4 Prensagem

Existem vários tipos diferentes de prensas usadas no tratamento de sucata de aço, como prensas para aparas, desintegradores. As aparas de aço são materiais de alimentação baratos, mas difícil de manejar e com altas perdas durante o processo de fusão. Estes problemas podem ser contornados se os emaranhados de aparas forem prensados em pedaços que possam ser adensados mais tarde por prensas de briquetado. [44]

6.2.5 Retalhamento (shredding)

Um dos equipamentos mais eficientes para o processamento da sucata, especialmente construído para desmanchar peças de grande tamanho é o “*shredder*”. O objetivo básico de um *shredder* é prensar o material alimentado em peças do tamanho bem reduzido e separar o conteúdo de aço de todos os demais materiais, que podem ser metais não-ferrosos ou mesmo materiais não-metálicos. O produto final é uma sucata bem uniforme e densa. O maior inconveniente do *shredder* é o elevado custo do processamento que, às vezes, não se justifica em comparação com outros procedimentos mais simples usados para sucatas mistas. [37,44]

6.3 - RECICLAGEM

Reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade o reaproveitamento de sucatas diversas. É o resultado de uma série de atividades pelas quais materiais que se tornariam lixo (ou estão no lixo) são desviados, coletados, separados e processados para serem utilizados como matéria-prima na manufatura de novos produtos.

Atualmente os aspectos ambientais tem se tornado critérios muito importantes na seleção de materiais. Na avaliação das propriedades ambientais de um material, a reciclagem é um fator chave. A indústria do aço inoxidável possui uma excelente performance ambiental, pois utiliza racionalmente energia primária, economiza recursos não renováveis e, além disso, reduz o fluxo de desperdícios.[36] São listados os fatores que tornam o aço inoxidável um material ecologicamente correto: [34]

- Todo produto de inox contém um teor reciclado médio de 60%;
- É 100% reciclável (não há perdas, independentemente do número de vezes que é reciclado);
- Pode ser reciclado tanto pós-consumo como pós-industrial;
- Os seus resíduos não são desviados para aterros sanitários, devido ao alto valor da sua sucata e potencial de reutilização do produto;
- É um material de baixa emissão (sem revestimentos = emissões zero);
- Ajuda a melhorar a qualidade do ar interior (sem compostos orgânicos voláteis VOC's, remoção de bactérias, dutos resistentes à corrosão);
- Ajuda a evitar o uso de materiais tóxicos (barreiras de longa duração contra pestes, escoamento superficial mínimo da cobertura);
- Gera energia limpa (painéis solares, lavagem de gases de exaustão em usinas de energia);
- Preserva a água (tubulações de água e tanques resistentes à corrosão e aos terremotos).

Os produtos de aço inoxidável são materiais cem por cento recicláveis, e por isso, nunca viram lixo ao final de sua vida útil. Isto ocorre porque o aço inoxidável é constituído de elementos como ferro, cromo, níquel, e molibdênio, que tornam a sua reciclagem, economicamente viável.[4]

Os processos de produção e reciclagem de aços inoxidáveis estão intimamente ligados, uma prova disso, é que todo produto de aço inoxidável produzido atualmente, contém aproximadamente 60% de conteúdo reciclado médio, e apenas 40% é de matéria prima adicionada no ciclo de reciclagem. Do total de 60% de conteúdo reciclado, 42% é proveniente de produtos em fim de vida (sucata de obsolescência) e 58% é oriundo de material retornado da produção e manufatura (sucata doméstica e de processo). O índice de 60% só não é maior porque o consumo do material vem crescendo ao longo dos últimos anos como podemos ver no gráfico reproduzido na figura 13. [4]



Figura 13: Produção mundial de aço inox [35]

De acordo com o gráfico reproduzido na figura 12, mesmo que toda a produção de aço inox do passado (anos 70 e 80) fosse reciclada, o material disponível representaria somente 35% da produção atual, se o ciclo de vida médio é de 20 anos, ou ainda, apenas 20% se o ciclo de vida é de 30 anos. Logo, podemos concluir que a taxa máxima teórica de reciclagem é dada pela produção no passado e também pelas taxas de crescimento do aço inox. Portanto, mesmo que todo o material produzido há trinta anos, que tivesse esgotado seu ciclo de vida útil, fosse reciclado, não seria suficiente para atender a demanda. Pelas características de produção do aço inox, não se deve falar em seu consumo como esgotamento de suas possibilidades, mas sim como parte de um sistema sustentável de ciclo fechado. [4]

O aço inox que é reciclado pela indústria atualmente, pode ter sido colocado no mercado a 20 ou 30 anos atrás. Com um conteúdo médio de 25% de sucata velha, o aço inoxidável está próximo do atingir o conteúdo máximo de material proveniente de produtos em final de vida. O gráfico reproduzido na figura 14 evidencia este fato.[4]



Figura 14: Conteúdo reciclado médio [35]

Podemos então a partir do gráfico representado na figura 14 concluir que, o conteúdo reciclado depende apenas de quanto aço inoxidável foi fabricado (posto no ciclo de produção) décadas atrás.

Durante os últimos anos, vem sendo constatado um decréscimo no volume reciclado de aço inox, muito provavelmente, por consequência do excedente do estoque de sucata. Geralmente as sucatas internas de aço inoxidável (geradas na própria usina siderúrgica), são reutilizadas no processo de produção após um período que pode variar de 3 dias a 3 meses. As sucatas de inox geradas pela indústria metalúrgica (sucata de processo), são reutilizadas depois de um período que pode chegar a 6 meses. Por fim, a sucata proveniente de produtos em final de vida (sucata de obsolescência) pode demorar até 30 anos para ser reutilizada. [34,35]

7 - CONCLUSÕES:

Após o estudo realizado sobre os aços inoxidáveis, o presente trabalho permitiu chegar a conclusões sólidas sobre os diferentes tópicos abordados ao longo do mesmo. Sem dúvidas, devido as suas propriedades mecânicas e químicas, sua versatilidade, e além é claro, de sua beleza, o aço inoxidável é hoje e será mais ainda no futuro um material necessário em diversas aplicações, quando será exigido um conjunto de propriedades que só um material como o aço inoxidável poderá reunir. É um material com grande potencial para substituir peças e equipamentos que hoje são constituídos de outros metais, ou até mesmo de outros materiais como polímeros, madeira, materiais compósitos e outros.

A produção mundial de aço inoxidável vinha mantendo um crescimento constante até o ano de 2006, porém nos últimos três anos, sofreu uma queda, por conta do aumento excessivo do preço do níquel e também devido à crise financeira mundial iniciada no final do ano de 2008. Embora o Brasil seja apenas o 9º mercado de aço inox do Mundo, estamos entre os principais países que devem apresentar um considerável aumento no consumo de inox em 2009. Apesar do aumento expressivo das taxas de consumo nos dois últimos anos, o consumo de aço inox no Brasil, ainda é considerado pequeno em relação ao consumo por habitante em países mais desenvolvidos.

No que diz respeito aos processos de produção dos aços inoxidáveis, podemos concluir que a principal matéria prima para a fabricação de inox é a própria sucata do aço inoxidável, uma vez que 60% da carga utilizada na sua produção é derivada de produtos em final de vida (sucata de obsolescência) e de sobras e aparas ocorridas durante o processamento na própria usina produtora de inox ou nas indústrias metalúrgicas (sucata doméstica e de processo). Outro ponto importante sobre a fabricação do aço inox, é o fato do seu refino (descarburação) ter que ser obrigatoriamente realizado em fornos especiais, como o VOD (*vacuum Oxygen Decarburization*) e AOD (*Argon oxygen Decarburization*) para possibilitar a redução do teor de carbono sem que haja perda de cromo para escória. Com o uso destes fornos, tem-se conseguido atingir teores cada vez mais baixos de carbono, o que é primordial para se obter um aço inox de boa qualidade.

Tem-se notado um decréscimo no teor de material reciclado na fabricação de aço inoxidável, devido ao fato de não haver sucata de aço inox disponível para acompanhar o crescimento da produção atual. Isso ocorre porque o inox produzido há 30 anos, e que hoje está no fim da sua vida útil, representa apenas 25% da produção mundial de aço inox atual, sendo assim, insuficiente para que o teor de material reciclado utilizado atualmente na produção de novos produtos de inox seja aumentado.

Por ser 100% reciclável, além das outras características ambientais citadas no trabalho, os produtos de aço inox são considerados ecologicamente corretos, gerando menor impacto ambiental que os outros materiais. Logo, os produtos fabricados em aço inoxidável são a escolha perfeita para proteger o meio ambiente e criar estruturas resistentes. Porém, é importante lembrar que o desempenho ambiental, estético e estrutural do aço inoxidável, depende da seleção correta, do acabamento e do projeto em questão.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] Vargas, A. e Fonseca, C., **A história do inox através das pessoas, Acesita 60 anos, 2004**, pp. 18-44.
- [2] Chiaverini, V., **Aços-carbono e aços-liga**, 2º ed., Publicação da Associação Brasileira de metais, 1965, pp. 341-372.
- [3] Site da ACESITA: <http://www.acesita.com.br> , acessado em 05/01/2009.
- [4] Site do Núcleo Inox: <http://www.nucleoinox.com.br> , acessado em 18/12/2008.
- [5] Callister, W.D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 5º ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2002, pp. 189 e 250 – 252.
- [6] Site do BNDES: <http://www.bndes.gov.br>, acessado em 08/02/2009.
- [7] Stainless steel in outline, stainless steel databook – Inco, 1996, pp.447-451.
- [8]<http://indexet.gazetamercantil.com.br/arquivo/2009/01/13/427/Producao-de-inox-caira-em-2009.html>, acessado em 28/02/2009.
- [9]<http://indexet.gazetamercantil.com.br/arquivo/2009/01/13/427/Producao-de-inox-caira-em-2009.html> - Gazeta Mercantil/Caderno C - Pág. 3(Bloomberg News), acessado em 5/03/2009.
- [10]http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php, acessado em 5/03/2009.
- [11] ONO, Y; KAITO, H. **MANUFACTURING PROCESS AND PROPERTIES OF STAINLESS STEEL**. Kawasaki steel technical Report, N. 14, março, 1986. pp. 1-11.
- [12] Pourbaix, M., **Lições de Corrosão Eletroquímica**, 3º ed., CEBELCOR, Bruxelas, 1987, pp.1-5.

- [13] ASM, Metals Handbook, vol. 2. “**Properties and selection of nonferrous alloys and special purpose materials : Nickel and nickel alloys**”, Materials Park, Ohio, 1990.
- [14] <http://e-lab.fc.up.pt/Ferro.htm>, acessado em 10/04/2009.
- [15] <http://www.quiprocura.net/elementos/descricao/grupo14.htm>, acessado em 22/04/2009.
- [16] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Oxig%C3%A9nio>, acessado em 30/04/2009.
- [17] Science-Engineering (capítulo 7 – Aço Inox),
<http://www.scribd.com/doc/921108/Microsoft-Word-Smith-cap7-A?page=37>, acessado em 02/05/2009.
- [18] **Anais do primeiro encontro nacional de tecnologia de aço inoxidáveis**, Programa de Engenharia Metalúrgica e de materiais da COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1974, pp.18-44.
- [19] Grupo Böhler-Uddeholm e Villares Metals,
http://www.cimm.com.br/porta1/noticia/exibir_noticia/2955-grupo-bhler-uddeholm-e-villares-metals-mostram-resultados-de-2007 , acessado em 06/05/2009.
- [20] Grupo Gerdau, <http://www.gerdau.com.br/gerdauacosespeciais/>, acessado em 10/05/2009.
- [21] CONSOLIDAÇÃO DE UM NOVO PRODUTO: P410D PARA USINA SUCROALCOOLEIRAS, disponível em <http://www.arcelormittal.com/br/>.
- [22] <http://www.worldstainless.org/>, acessado em 26/05/2009.
- [23] Revista Inox, Publicação do Núcleo de Desenvolvimento Técnico Mercadológico do Aço Inoxidável (Núcleo Inox) nº 30, Julho/Outubro de 2008, disponível em www.nucleoinox.com.br .
- [24] <http://www.estainlesssteel.com/stainlesssteelandnickelcharts.shtml>, acessado em 18/05/2009.
- [25] ADAMIAN; R.; **Economia dos Novos Materiais**; Capítulo 4: O Aço: Um novo material?; (no prelo); Rio de Janeiro; 2009.

- [26] <<http://200.150.146.163/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=30>>; Acessado em 20/05/2009.
- [27] CASTRO; L. F. A.; FIGUEIRA; R. M.; TAVARES; R. P. **Princípios Básicos e Processos de Fabricação do Gusa ao Aço Líquido**; Belo Horizonte; Universidade Federal de Minas Gerais; Fundação Cristiano Ottoni; 1985.
- [28] PRETORIUS,E.B.; NUNNINGTON,R.C. **Stainless steel slag fundamentals: from furnace to tundish, Ironmaking and Steelmaking**, Vol.29, nr.2, 2002, p.133-139.
- [29] SILVA; A.L.V.C.; MEI; P.R., **Aços e ligas especiais**, 2º ed., Editora Edgard Blücher, 2006, pp. 475-547.
- [30] Heck;N.C.; Vilela;A.C.F.; Silva;A.L.; **Aplicação da ferramenta termodinâmica computacional na simulação da produção de aço inoxidável**; Rio Grande do Sul, UFRGS.
- [31] Yonekubo;A.E.; Kubaski E. T.; Capocchi J. D. T.; Cintho O.M; **ESTUDO DE UM AÇO INOXIDÁVEL DÚPLEX UNS S31803 PROCESSADO EM UM MOINHO PLANETÁRIO**; Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- [32] ANDRADE; M. L. A.; CUNHA; L. M. S.; GANDRA; G. T.; RIBEIRO; C. C.; **Mercado Mundial de Sucata**; Rio de Janeiro: AO2/GESIS, 2000. Disponível em: www.bndes.gov.br.
- [33] **Siderurgia Brasileira: Relatório de Sustentabilidade**; Rio de Janeiro; 2007. Disponível em: www.ibs.org.br.
- [34]http://www.nucleinox.org.br/upfiles/arquivos//downloads/ArquiteturaSustentavel_NiInst_final_d.pdf , acessado em 15/06/2009.
- [35]<http://www.worldstainless.org/NR/rdonlyres/8FD0898799EEF0E8F938/2425/StainlessSteelRecyclingAvailabilityofscrap.pdf> , acessado 21/07/2009.
- [36]http://www.sucatas.com/saibamais_sucata.html , acessado em 21/07/2009.

- [37] Ries; W.; **Fornos a Arco: Análise e projeto do Sistema Elétrico**; 1º ed., EDIPUCRS, 2001; pp.131-132.
- [38] http://www.abcm.org.br/xi_creem/resumos/MT/CRE04-MT14.pdf, acessado em 29/07/2009.
- [39] http://pt.wikipedia.org/wiki/Processo_de_Bessemer, acessado em 06/08/2009.
- [40] [http://www.infopedia.pt/\\$processo-siemens-martin](http://www.infopedia.pt/$processo-siemens-martin), acessado em 06/08/2009.
- [41] <http://www.nucleoinox.org.br/upfiles/arquivos//downloads/Composi%E7%E3o%20Qu%EDmica%20Propriedades%20e%20Aplica%E7%F5es.pdf>, acessado em 07/08/2009.
- [42] <http://www.vale.com/vale/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?tpl=home>, acessado em 07/08/2009.
- [43] Araújo L.A.; **Manual de Siderurgia**; Arte e Ciência, 1997; pp. 359 e 464.
- [44] EICKHOLT; M.; KOLLMANNBERGER; O.; **Metodos para mejorar la calidad de la chatarra**; Siderurgia Latinoamericana, n° 413, p. 9 – 17, Set.1994.

APÊNDICE A / Composição química dos aços inoxidáveis

A tabela A.1 reproduz a composição de alguns aços inoxidáveis austeníticos.

Tabela A.1: Composição química dos aço inoxidáveis austeníticos, % máxima. [41]

Tipo de aço ABNT	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
201	0,15	5,50	1,00	0,060	0,030	16,00	3,50	N
		7,50				18,00	5,50	0,25
202	0,15	7,50	1,00	0,060	0,030	17,00	4,00	N
		10,00				19,00	6,00	0,25
205	0,12	14,00	1,00	0,060	0,030	16,50	1,00	N
	0,25	15,50				18,00	1,75	0,32/0,40
301	0,15	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00	6,00	
						18,00	8,00	
302	0,15	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	8,00	
						19,00	10,00	
302 B	0,15	2,00	2,00	0,045	0,030	17,00	8,00	
			3,00			19,00	10,00	
303	0,15	2,00	1,00	0,20	0,15	17,00	5,00	MO (A)
					min.	19,00	10,00	0,60
303 Se	0,15	2,00	1,00	0,20	0,060	17,00	8,00	Se
						19,00	10,00	0,15 min.
304	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	8,00	
						20,00	10,50	
304 L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	8,00	
						20,00	12,00	
304 N	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	8,00	N
						20,00	10,50	0,10/0,16
305	0,12	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	10,50	
						19,00	13,00	
308	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	19,00	10,00	
						21,00	12,00	
309	0,20	2,00	1,00	0,045	0,030	22,00	12,00	
						24,00	15,00	
3095	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	22,00	12,00	
						24,00	15,00	
310	0,25	2,00	1,50	0,045	0,030	24,00	19,00	
						26,00	22,00	
3105	0,08	2,00	1,50	0,045	0,030	24,00	19,00	
						26,00	22,00	
314	0,25	2,00	1,50	0,045	0,030	23,00	19,00	
			3,00			26,00	22,00	

316	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00	10,00	M0
						18,00	14,00	2,00/3,00
316 L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00	10,00	M0
						18,00	14,00	2,00/3,00
316 F	0,08	2,00	1,00	0,20	0,10	16,00	10,00	M0
					min.	18,00	14,00	1,75/2,50
316 N	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00	10,00	M0 2,00/3,00
						18,00	14,00	N 0,10/0,16
317	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	11,00	M0
						20,00	15,00	3,00/4,00
317 L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	11,00	M0
						20,00	15,00	3,00/4,00
321	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	9,00	Ti \geq
						19,00	12,00	5 x C
329	0,10	2,00	1,00	0,040	0,030	25,00	3,00	M0
						30,00	6,00	1,00/2,00
330	0,08	2,00	0,75	0,040	0,030	17,00	34,00	
			1,50			20,00	37,00	
347	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	9,00	Nb + Ta \geq
						19,00	13,00	10 x C
348	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	17,00	9,00	Nb + Ta \geq 10 x C
						19,00	13,00	Ta 0,10 máx.
							I	CO 0,20 máx.
384	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	15,00	17,00	
						17,00	19,00	

(A) Opcional.

A tabela A.2 reproduz a composição de alguns aços inoxidáveis martensíticos.

Tabela A.2: Composição química dos aços inoxidáveis martensíticos, % máxima [41]

Tipo de aço ABNT	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
403	0,15	1,00	0,50	0,040	0,030	11,50 13,00		
405	0,08	1,00	1,00	0,040	0,030	11,50 14,50		Al 0,10/0,30
410	0,15	1,00	1,00	0,040	0,030	11,50 13,50		
414	0,15	1,00	1,00	0,040	0,030	11,50 13,50		Ni 1,25/2,50
416	0,15	1,25	1,00	0,060	0,15 min.	12,00 14,00	0,60 (A)	
416Se	0,15	1,25	1,00	0,060	0,060	12,00 14,00		Se 0,15 min.

420(B)	0,15 min	1,00	1,00	0,040	0,030	12,00 14,00		
420F	0,15 min	1,25	1,00	0,060	0,15 min.	12,00 14,00	0,60 (A)	
422	0,20 0,25	1,00	0,75	0,025	0,025	11,00 13,00	0,75 1,25	Ni 0,50/1,00 V 0,15/0,30 W 0,75/1,25
431	0,20	1,00	1,00	0,040	0,030	15,00 17,00		Ni 1,25/2,50
440 A	0,60 0,75	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00 18,00	0,75	
440 B	0,75 0,95	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00 18,00	0,75	
440 C	0,95 1,20	1,00	1,00	0,040	0,030	16,00 18,00	0,75	
501	0,10 min	1,00	1,00	0,040	0,030	4,00 6,00	0,40 0,65	
502	0,10	1,00	1,00	0,040	0,030	4,00 6,00	0,40 0,65	

A) Opcional

B) O aço tipo ABNT 420 pode ser solicitado objetivando carbono nas faixas 0,15/0,35 e 0,35/0,45 caso se destine a'uso geral ou aplicação em cutelaria respectivamente,

A tabela A.3 reproduz a composição de alguns aços inoxidáveis ferríticos.

Tabela A.3: Composição química dos aços inoxidáveis ferríticos, % máxima. [41]

Tipo de aço ABNT	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
409	0.08	1.00	1.00	0.045	0.045	10.50 11.75		Ti \geq 6xC Ti 0.75 máx
429	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	14.00 16.00		
430	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00 18.00		
430F	0.12	1.25	1.00	0.060	0.15 min	16.00 18.00	0.60 (A)	
430FSe	0.12	1.25	1.00	0.060	0.060	16.00 18.00		Se 0.15 min
434	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00 18.00		
436	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	16.00 18.00	0.75 1.25	Nb+Ta \geq 5xC 0.70 máx
442	0.20	1.00	1.00	0.040	0.030	13.00 23.00	0.75 1.25	
446	0.20	1.50	1.00	0.040	0.030	23.00 27.00		N 0.25

(A) Opcional

A Tabela A.4 reproduz a composição de alguns aços inoxidáveis ferríticos.

Tabela A.4: Composição química dos aços inoxidáveis duplex, % máxima. [29]

Nome comum	UNS	C máx	Cr	Ni	Mo	N	outros
AISI329	S32900	0,08	23-28	2,5-5,0	1-2,0	0	
3RE60	S31500	0,03	18-19	4,3-5,2	2,5-3	0,05-0,1	
2304	S32304	0,03	21,5-24,5	3-5,5	0,05-0,6	0,05-0,2	
2205	S31803	0,03	21-23	4,5-6,5	2,5-3,5	0,1-0,22	
F55	S32760	0,03	24-26	6,0-8,0	3,0-4,0	0,2-0,3	Cu=0,7/ W=0,7
2507	S32750	0,03	24-26	6,0-8,0	3,0-5,0	0,2-0,3	Cu=0,5

A tabela A.5 reproduz a composição química de alguns aços inoxidáveis endurecidos por precipitação.

Tabela A.5: Composição química dos aços inoxidáveis endurecidos por precipitação, % máxima. [29]

Nome comercial	(ASTM)	C	Cr	Ni	Cu	Nb+Ta
15-5 PH	XM12	0,07	15	4,5	3/jan	0,45 máx.
17-4 PH	630	0,07	16,5	4	4	0,45 máx.
13-8 PH	XM13	0,045	13	8	2,5	Al = 1