



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**Aço inoxidável como material para equipamentos
da indústria de alimentos**

PAULO VICTOR NOGUEIRA PÓVOA

Uberlândia – MG

30/11/2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**Aço inoxidável como material para equipamentos
da indústria de alimentos**

Paulo Victor Nogueira Póvoa

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Uberlândia – MG
2017

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA TRABALHO
DE CONCLUSÃO DE CURSO DE PAULO VICTOR NOGUEIRA PÓVOA APRESENTADA À
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 30 DE NOVEMBRO DE 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof.
Orientador (FEQ/UFU)

Prof.
FEQ/UFU

Prof.
FEQ/UFU

RESUMO

Com o crescimento da população, a demanda por alimentos se torna cada vez maior, e a produção industrial de alimentos tem um papel importante a fim de suprir a quantidade necessária. Durante o processamento de alimentos em indústrias, é fundamental que seja preservada a integridade e qualidade deles, e para isso, é importante que o material constituinte dos equipamentos industriais seja adequado para evitar comprometimento da qualidade do produto alimentício. São apresentadas legislações, do Brasil e de outros países, que regulamentam os tipos de materiais que estão em condições de entrar em contato com alimentos, tanto para processamento quanto para embalagem. Apesar de algumas variações entre as leis, de um modo geral, todos os países recomendam o aço inoxidável e promovem restrições a certos tipos de metais. O cobre, por exemplo, sofre restrições de uso em todas as legislações observadas. O aço inoxidável é o material com maior aplicação, devido à sua capacidade de resistir à corrosão e por apresentar superfície lisa, inviabilizando a contaminação e a deposição de substrato, reduzindo, assim, as chances de crescimento microbiano. São abordados tipos, propriedades e características dos aços inoxidáveis que justificam sua larga aplicação em equipamentos da indústria de alimentos, além dos diversos tipos de corrosão a que estão sujeitos. Dentre os tipos de aço inoxidável adequados para uso na indústria de alimentos, o AISI 304 é o mais utilizado, por apresentar menor custo. Mesmo apresentando melhor resistência à corrosão, o aço inoxidável está sujeito às corrosões intergranular, por erosão, por frestas, por pites ou sob tensão.

Palavras chave: Aço inoxidável. Alimentos. Materiais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de fases do sistema Fe-Fe ₃ C: Fe-Fe ₃ C: aços (até 2,14% C) e ferros fundidos (acima de 2,14% C).....	20
Figura 2 - Liga Fe-Fe ₃ C: efeitos da adição de elementos nas temperatura e composição eutetoide.....	21
Figura 3 - Fluxograma das variações de composição a partir do aço inoxidável austenítico 304.....	25
Figura 4 - Fluxograma das variações de composição a partir do aço inoxidável ferrítico 430 e martensítico 420.....	26
Figura 5 - Corrosão intergranular do aço inox: (a) ilustração da precipitação do carbeto e (b) material exposto a cloreto e a temperatura (entre 500°C e 800°C).	27
Figura 6 - Corrosão por pites em aço 304, causada por íon cloreto.....	28
Figura 7 - Corrosão por fresta em aço inoxidável.....	28
Figura 8 - Corrosão sob tensão em autoclave de aço inoxidável 304.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aços e suas ligas inoxidáveis em embalagens e equipamentos para alimentos.....	14
Tabela 2 - Propriedades mecânicas dos aços 304L e 316L.....	23
Tabela 3 - Aços inoxidáveis: composições, propriedades mecânicas e aplicações.	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. LEGISLAÇÃO.....	12
2.1. Legislação no Brasil.....	12
2.1.1. Portaria nº 28, de 18 de março de 1996.....	12
2.1.2. Lei nº 9.832, de 14 de setembro de 1999.....	12
2.1.3. Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007.....	13
2.2. Legislação em outros países.....	16
2.2.1. Mercosul.....	16
2.2.2. Canadá.....	16
2.2.3. Estados Unidos da América.....	16
2.2.4. União Europeia.....	17
3. AÇOS INOXIDÁVEIS.....	19
3.1. Classificação.....	20
3.2. Tipos de aços utilizados na indústria de alimentos.....	22
3.3. Propriedades.....	23
3.3.1. Aços inoxidáveis austeníticos.....	24
3.3.2. Aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos.....	25
3.4. Corrosão.....	26
3.4.1. Corrosão Intergranular.....	26
3.4.2. Corrosão por Erosão.....	27
3.4.3. Corrosão por Pites.....	27
3.4.4. Corrosão por Frestas.....	28
3.4.5. Corrosão sob tensão fraturante.....	29
3.5. Crescimento Microbiano.....	29

4. CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, com a previsão de uma população mundial de 9 bilhões de pessoas, até 2050, vem fazendo com que a demanda por alimentos se torne cada vez maior (GODFRAY *et al*, 2010). Assim, é extremamente importante que processos industriais sejam desenvolvidos para auxiliar na produção de alimentos em maior escala, a fim de suprir essa necessidade.

Com o intuito de assegurar que os produtos alimentícios estejam em condições adequadas de consumo, é essencial que, durante o processo de produção, determinadas especificações e medidas de segurança sejam atendidas. É possível destacar o tipo de material de que os equipamentos são feitos, que muitas vezes pode ser fonte de contaminação.

Problemas de saúde muitas vezes estão associados ao consumo de alimentos ou bebidas contaminados, cujas fontes podem ser metais pesados presentes em equipamentos empregados nos processos industriais. Como exemplo, a hipercupremia, causada pelo excesso de cobre (Cu) solúvel no organismo, pode ser tóxica, pois esse elemento tem afinidade com muitas enzimas e proteínas, e pode levar a problemas de epilepsia, melanomas, artrite reumatoide, entre outras doenças psiquiátricas (AZEVEDO *et al*, 2003).

Além do próprio cobre, outros metais pesados podem estar presentes em produtos alimentícios, como é o caso de ferro (Fe) e zinco (Zn) encontrados em bebidas alcoólicas (IBANEZ *et al*, 2013). No entanto, existem benefícios relacionados ao consumo moderado de vinho, por exemplo, que contém alguns metais dissolvidos e permitem o cumprimento de requisitos nutricionais, como é o caso de cálcio (Ca), cobalto (Co) e os próprios cobre (Cu), ferro e zinco (POHL, 2007).

No Brasil, desde 1999, existe a lei nº 9.832, cujo artigo Art. 1º proíbe o uso industrial de embalagens metálicas soldadas com liga de chumbo e estanho para acondicionamento de gêneros alimentícios, exceto para produtos secos ou desidratados.

No estado de Minas Gerais, houve a proibição da utilização de materiais de cobre na produção de alimentos, pela Vigilância Sanitária Estadual de Minas Gerais, baseada na Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A liberação para o uso desse elemento ocorre com aplicação de revestimento com ouro (Au), prata (Ag), níquel (Ni) ou estanho (Sn) (G1 MINAS GERAIS, 2010).

Muito se discute a respeito de qual o melhor material para panelas e utensílios aplicados na cocção de alimentos. Materiais de alumínio, por exemplo, estão associados a doenças neurodegenerativas, como o mal de Alzheimer. Por outro lado, estudos apontam que a utilização de panelas de ferro para preparo de alimentos contribui para o tratamento e prevenção de anemia ferropriva. Mesmo com aço inoxidável, é recomendado que pessoas sensíveis ao níquel não utilizem utensílios desse material no preparo dos alimentos, pois a migração desse elemento para o alimento não é desprezível, considerando o consumo diário de alimentos produzidos nesses utensílios (QUINTAES, 2000). No entanto, apenas uma parcela de 8 a 28,5% da população em geral apresenta hipersensibilidade ao níquel (BLANCO-DALMAU *et al*, 1984; FEASBY *et al*, 1988; BASS *et al*, 1993).

Ainda no âmbito doméstico, a preocupação com o tipo de materiais também existe quando se trata das caixas d'água de residências. Mesmo que a Lei 9.055/1995 permita uso do amianto de variedade crisotila (asbesto branco), existem leis em estados como São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Pernambuco e Rio Grande do Sul que vetam o uso desse material (G1, 2017). No caso de caixas d'água pode-se usar o aço inoxidável, pelo fato de não ser corrosivo, ter vida longa vida útil, não descascar e dispensar pinturas (ISHIBA *et al*, 2007)

Na prática industrial, o aço inoxidável é aplicado em equipamentos e embalagens da indústria alimentícia, com base no fato de não existirem avaliações formais que indiquem risco à saúde pela sua aplicação em contato com alimentos (COUNCIL OF EUROPE, 2002).

O aço inoxidável é uma liga metálica (12-26%Cr, até 22%Ni e outros elementos em menor quantidade: Carbono – C, Manganês - Mn, Fósforo – P, etc.) altamente resistente à corrosão (ou seja, sofre apenas oxidação superficial) em

diversos ambientes, inclusive na atmosfera. Isso permite a proteção do equipamento e a não contaminação do alimento processado nele, em particular alimentos ácidos. Além da resistência à corrosão, devido à presença de cromo (Cr), o aço inoxidável também apresenta a propriedade de ser um material polido (ou seja, liso e sem poros em sua microestrutura), de modo a dificultar a deposição de alimentos, evitando crescimento microbiano (SILVA TELLES, 2003; FELLOWS, 2006; CALISTER, 2015). Porém, ainda assim, existe a possibilidade de ocorrer crescimento microbiano em superfícies de aço inoxidável, e, para resolver esse problema, estuda-se aplicação de revestimentos, como o zeólito de prata (GRIFFITH *et al*, 2015).

A liga de aço inoxidável apresenta-se em cinco tipos (ou classes), de acordo com a fase predominante em sua microestrutura: austeníticos, ferríticos, martensíticos, endurecíveis por precipitação e duplex. Dentre essas classes, os austeníticos possuem o tipo AISI 304, que é próprio para aplicação em processamento de alimentos (CALLISTER, 2015; CAETANO, 2016).

O objetivo deste trabalho é conhecer o aço inoxidável como material constitutivo de equipamentos da indústria de alimentos, para evitar problemas de contaminação de alimentos.

No capítulo 2, apresenta-se a legislação relacionada ao uso de materiais pesados na indústria de alimento no Brasil e em outros países, e é feita uma discussão a respeito de algumas diferenças entre elas.

No capítulo 3, são apresentados os tipos de aços inoxidáveis empregados em processamento de alimentos. São detalhadas tipos, propriedades dos materiais e formas de prevenção de corrosão do aço inoxidável, para assegurar a proteção dos alimentos.

As conclusões e considerações finais desse trabalho são apresentadas no capítulo 4.

A redação deste trabalho segue as recomendações presentes no trabalho de Fuchs, Pinheiro e França (2013), por sua vez baseado nas normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2005).

2. LEGISLAÇÃO

Com o objetivo de estabelecer um padrão de qualidade e segurança alimentar existem leis a serem cumpridas pelas indústrias. Essas leis podem variar de acordo com os países, que seguem as recomendações de suas próprias agências de vigilância sanitária (agências regulatórias). Por exemplo, no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa); no Canadá, a *Food and Drug Regulations* do *Health Canada*; nos EUA, o *Food and Drug Administration* (FDA) e na União Europeia, a Consumers, Health, Agriculture, and Food Executive Agency (CHAFEA), auxiliada pela *European Food Safety Authority* (EFSA).

As agências regulatórias utilizam como referência a Comissão do Código Alimentar (*Codex Alimentarius Comission* – CAC), órgão conjunto da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). O *Codex* foi criado em 1963, com o objetivo de estabelecer normas internacionais e padrões na área de alimentos e garantir a saúde dos consumidores, sendo utilizado em 167 países, além da União Europeia. (GAVA *et al*, 2014; ANVISA, 2016).

Apesar da existência do *Codex Alimentarius*, ainda existem diferenças entre as legislações dos países. Um exemplo de divergência é com relação à quantidade máxima de cobre a ser consumida pelas pessoas por dia, já que o Canadá estabelece que não existe um limite (apesar de alertar sobre os riscos), enquanto os Estados Unidos têm esse valor definido.

As legislações no Brasil e em outros países são apresentadas a seguir.

2.1 Legislação no Brasil

2.1.1 – Portaria nº 28, de 18 de março de 1996

O primeiro regulamento técnico de embalagens e equipamentos metálicos em contato com alimentos foi estabelecido em 1996, pela Portaria nº 28. No entanto, foi revogada pela subsequente Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007 (item 2.1.3 do texto).

2.1.2 – Lei nº 9.832, de 14 de setembro de 1999

Com o objetivo de regulamentar a utilização de equipamentos e embalagens metálicos em contato direto com o alimento, foi criada a Lei nº 9.832,

de 14 de setembro de 1999, publicada no Diário Oficial da União em 15 de setembro de 1999. O artigo Art. 1º determina a proibição, em todo o território nacional, a partir de dois anos da entrada em vigor desta Lei, do uso industrial de embalagens metálicas soldadas com liga de chumbo e estanho para acondicionamento de gêneros alimentícios, exceto para produtos secos ou desidratados.

2.1.3 – Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007

Com o intuito de estabelecer regulamento técnico a ser seguido para utilização materiais metálicos em contato com alimentos, foi criada a Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007, publicada no Diário Oficial da União, em 26 de março de 2007.

Essa resolução se aplica a embalagens, revestimentos, utensílios, tampas e equipamentos, materiais compostos de (de acordo com item 2.1 da RDC nº 20):

- a) materiais metálicos ferrosos ou não ferrosos, exclusivamente.
- b) materiais ferrosos ou não ferrosos recobertos exclusivamente com revestimentos metálicos.
- c) materiais ferrosos ou não ferrosos com revestimentos poliméricos parciais ou totais.
- d) materiais ferrosos ou não ferrosos, com revestimentos em louças, vitrificados ou esmaltados.
- e) materiais ferrosos ou não ferrosos submetidos a uma operação de lubrificação.

Esses materiais, nas condições previstas de uso, não poderão (de acordo com item 2.2 da RDC nº 20):

- a) ceder aos alimentos substâncias indesejáveis, tóxicas ou contaminantes em quantidades que representem risco para a saúde humana.
- b) ocasionar modificações inaceitáveis na composição dos alimentos ou nas características sensoriais dos mesmos.

O item 2.4, da RDC nº 20, estabelece que “Todo material esmaltado, estanhado, com louça, envernizado ou tratado deve apresentar sua superfície revestida de acordo com as boas práticas de fabricação, para assegurar a proteção do alimento. São permitidas as embalagens parcialmente envernizadas em seu interior ou com exposição intencional de um filete de estanho tecnicamente puro, quando as características do alimento a ser embalado assim o requeiram”.

Cabe observar que o termo “listas positivas” se refere às listas de substâncias liberadas para uso em equipamentos e embalagens em contato com alimentos. Não existe uma lista negativa, portanto, se uma substância não está prevista nas listas positivas, ela não pode ser usada para os fins em questão (ANVISA, 2014).

Os materiais inclusos nas listas positivas de matérias primas para a elaboração de embalagens e equipamentos metálicos para alimentos são apresentados a seguir: (a) Aço e suas ligas inoxidáveis (Tabela 1), abordados no Capítulo 3; (b) Ferro fundido ou batido; (c) Alumínio tecnicamente puro e suas ligas;

Tabela 1. Aços e suas ligas inoxidáveis em embalagens e equipamentos para alimentos (continua).

AISI (American Iron and Steel Institute)	UNS (Uniform Number System)	Normas EM (Euro Norm)
202	S 20200	
301	S 30100	1.4310
302	S 30200	
303	S 30300	1.4305
303 Se	S30323	
304	S 30400	1.4301
304L	S 30403	1.4307
305	S 30500	1.4303
308		
316	S 31600	1.4401
316 L	S 31603	1.4404
321	S 32100	1.4541

Tabela 1. Aços e suas ligas inoxidáveis (continuação e conclusão).

AISI (American Iron and Steel Institute)	UNS (Uniform Number System)	Normas EM (Euro Norm)
347	S 34700	1.4550
410	S 41000	1.4006
416	S 41600	1.4005
420	S 42000	1.4028
430	S 43000	1.4016
430 F	S 43000	1.4016
431	S 43100	1.4057
		1.4110
		1.4116
444	S 44400	1.4521
439	S 43035	1.4510
	S 41050	1.4003
	S 32304	1.4362
	S 31803	1.4462
	S 32760	1.4501

Fonte: Resolução RDC nº 20 (2007).

(d) Aço revestido de cromo protegido totalmente em sua superfície com revestimentos poliméricos, em louças, vitrificados ou esmaltados; (e) Aço não revestido (chapa negra) protegida em toda sua superfície com revestimentos poliméricos, em louças, vitrificados ou esmaltados; (f) cobre (Cu), latão ou bronze revestidos integralmente por uma capa de ouro (Au), prata (Ag), níquel (Ni) ou estanho (Sn) tecnicamente puros; (g) estanho (Sn), níquel (Ni) e prata (Ag); (h) ferro (Fe) em louça ou esmaltado; (i) folha-de-flandres (recoberta de estanho, na quantidade necessária para cumprir com a função tecnológica, e envernizada internamente, total ou parcialmente, com materiais poliméricos.); (j) os materiais metálicos não devem conter mais de 1% de impurezas constituídas por chumbo (Pb), arsênio (As), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), antimônio (Sb) e cobre (Cu), considerados em conjunto. O limite individual de arsênio, mercúrio e chumbo não deve ser maior do que 0,01%.

2.2 – Legislação em outros países

2.2.1 – Mercosul

Segundo a ANVISA, a maioria dos regulamentos sobre materiais em contato com alimentos são harmonizados entre os países do MERCOSUL (Mercado Comum do Sul), ou seja, entre Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Por esse motivo, qualquer revisão ou novo regulamento a respeito desse assunto devem ser harmonizados (ANVISA, 2014).

Os itens mencionados na RDC nº 20 (item 2.1.3 deste texto) estão em conformidade com a Resolução GMC nº 46/06, a respeito do "Regulamento técnico Mercosul sobre disposições para embalagens, revestimentos, utensílios, tampas e equipamentos metálicos em contato com alimentos".

2.2.2 – Canadá

Segundo o órgão *Health Canada*, podem existir vantagens e riscos à saúde associados ao contato de materiais metálicos com alimentos. No caso do cobre (Cu), apesar de pequenas doses serem boas para a saúde diária, grandes quantidades podem ser nocivas (HEALTH CANADA, 2015).

No entanto, não existe uma quantidade máxima definida como limite para o consumo diário. Por isso, no Canadá, panelas (e outros materiais para cozinhar alimentos) de cobre são comercializados apenas se forem revestidos por outro metal que previna o contato direto desse metal com o alimento, especialmente alimentos ácidos que sejam processados ou armazenados por longos períodos (HEALTH CANADA, 2015).

2.2.3 – Estados Unidos da América

Além da FDA (*Food and Drug Administration*), existe, nos Estados Unidos, a *NSF International*, antiga *National Sanitation Foundation*, uma organização não-governamental independente, que atua em áreas de determinação de padrões de consumo de água e de segurança alimentar. As certificações desse órgão são constantemente descritas como NSF/ANSI, devido à associação com *The American National Standards Institute* (ANSI), uma organização privada sem fins lucrativos que atua no desenvolvimento voluntário de padrões no país. (INDUSTRIAL SPECIALTIES MFG. 2015)

Com relação à segurança alimentar existe a ANSI/NSF 51-1997, aprovada em 1998, que determina requisitos sanitários mínimos para materiais usados na construção de equipamentos comerciais para alimentos. Cabe observar que essa norma foi atualizada em 2013, porém o acesso ao documento foi inviabilizado pelo alto custo de aquisição (mesmo com tentativas de busca de abordagens em outras publicações), e por essa razão, a análise é feita com base nos metais indicados no documento de 1998, preservando o princípio das normas. Entre os tipos de metais considerados, pode-se destacar:

- a) Aço inoxidável: devem ser usados os tipos das séries AISI 200, AISI 300 e AISI 400, que serão abordadas no Capítulo 3. Quando usado em zona alimentar, devem conter o mínimo de 16% de cromo (Cr).
- b) Cobre: esse metal e suas ligas não devem ser usados em zonas alimentares. Existem duas exceções: i) é permitido o uso de materiais que contenham até 8% de latão [liga com até 40%Zn] ou bronze [ligas de Cu - 85-95%, com Sn, Al, P, Si], para contato, exclusivamente, com chás, café e água; ii) é permitida a utilização de ligas de cobre-níquel (Cu-Ni) em zonas alimentares cuja a exposição aos alimentos se limita, clara e especificamente, a alimentos e bebidas não ácidos, isto é, com pH igual ou maior que 6,0.

2.2.4 – União Europeia

O Conselho Europeu reúne os chefes de Estado e de Governo dos Estados-Membros e representa o nível mais elevado de cooperação política entre os países do bloco. Esse Conselho é responsável por definir as orientações e prioridades políticas gerais da União Europeia, mas não por aprovar legislação (UNIÃO EUROPEIA, 2017). Em 2002, este conselho criou o documento *Guideline on metals and alloys used as food contact materials* (Guia para metais e ligas usados em materiais em contato com alimentos), usado como referência no bloco (COUNCIL OF EUROPE, 2002).

Esse documento fornece informações a respeito do uso de aço inoxidável, além de outros metais (por exemplo, o Cu) em contato com alimentos:

- a) Aço inoxidável: não existe limite universal de composição dessa liga para aplicações em contato com alimentos. Alguns países possuem legislações específicas, como França que determina o mínimo de 13% de cromo (Cr) na composição e Itália que possui uma lista positiva para o grau [de composição] desta liga. Não existem avaliações formais que indiquem risco à saúde pela aplicação de aço inoxidável em contato com alimentos.
- b) Cobre: a quantidade diária necessária de cobre para o organismo, estabelecida pela Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) em 1982, é 0,05mg/kg de massa corporal, e o limite máximo é de 10mg/dia, como proposto pelo Scientific Committee of Food (SCF) em 1993. O documento recomenda, ainda, que seja evitado o contato direto de alimento com utensílios de cobre. No entanto, não há restrição ao uso de cobre revestido com estanho (Sn), aço inoxidável ou outro metal apropriado.

3. AÇOS INOXIDÁVEIS

A maioria das ligas ferrosas utilizadas são aços-carbono (0,05% a 2% de carbono) e aços de baixa liga, que, além do carbono, apresentam em sua composição outros elementos chamados elementos liga, em concentração inferior a 5%. Isso pode ser justificado por apresentarem menores custos, devido a ausência de grandes quantidades de elementos liga, e por serem suficientemente dúcteis, resistentes e por poderem ser prontamente formados. A fim de obterem propriedades específicas, diferentes elementos liga são adicionados ao aço, dando origem aos aços de alta liga (cuja concentração de elementos liga é maior que 10%). No entanto, a adição desses elementos deve ser feita com cautela, já que apresentam elevados custos (SHACKELFORD 2015; TELLES, 2003).

Aços inoxidáveis (*stainless steel*) são classificados como aços de alta liga e são altamente resistentes à corrosão (sofrem apenas oxidação superficial) em vários ambientes, especialmente na atmosfera. É uma liga a base de ferro, cuja característica anti-corrosiva é resultante do elemento liga predominante Cr (de 10,5% a 26%, em massa), além da presença até 22% de Ni. A adição de molibdênio (Mo) também melhora a resistência à corrosão (TELLES, 2003; PECKNER *et al.*, 1977).

O primeiro registro documentado da resistência à oxidação de ligas de Fe-Cr data de 1821, na aplicação de materiais anti-corrosivos em talheres, pelo metalurgista francês Pierre Berthier (ELLIS, 2009). No entanto, só após quase um século, em 1912, foi possível obter ligas de alto cromo e baixo teor de carbono com aplicação prática, caracterizando a primeira patente industrial de aço inoxidável (TELLES, 2003).

Apesar da boa resistência à corrosão, os aços inoxidáveis podem estar sujeitos à oxidação ou a algum processo corrosivo, abordado no item 3.4. Um fator muito importante é o estado de acabamento do metal, sendo melhor quando a superfície estiver lisa e polida. Problemas microbianos associados a poros na superfície de aços inoxidáveis serão abordados no item 3.5.

Existe uma grande variedade de tipos de aços inoxidáveis (TELLES, 2003). De acordo com a AISI (*American Iron and Steel Institute*), aços inoxidáveis podem ser divididos em cinco categorias, a depender de suas microestruturas,

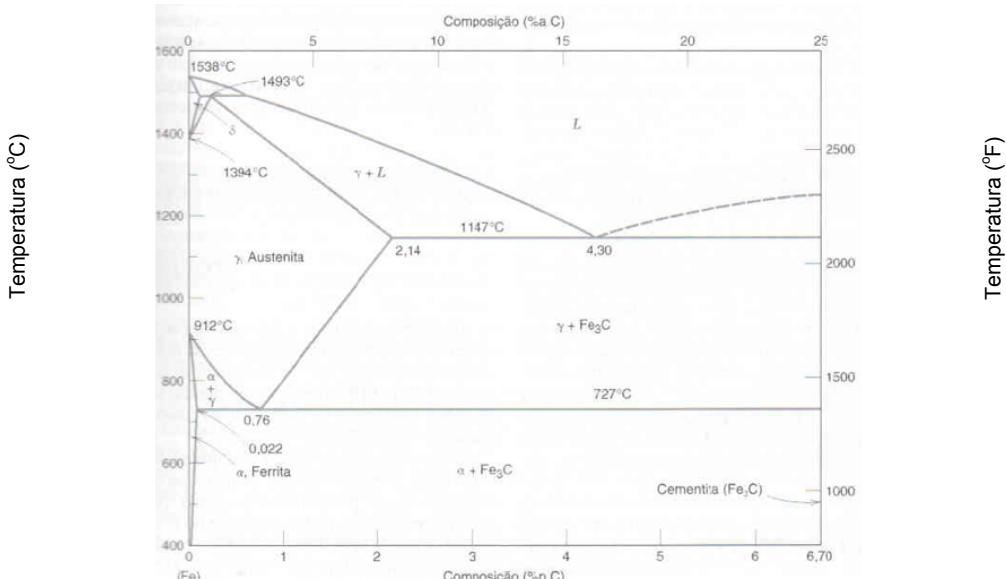
composição química, propriedades mecânicas e resistência a corrosão, sendo eles: austenítico, ferrítico, martesítico, endurecíveis por precipitação e duplex (CAETANO, 2016).

3.1 – Classificação

A princípio, nomeavam-se os diferentes tipos de aços inoxidáveis com base na composição de níquel e cromo da liga, por exemplo, aço inoxidável 18-8 (18%Cr e 8%Ni), atualmente conhecido como tipo 304. Porém, com o desenvolvimento de novas ligas, a nomenclatura inicial se tornou inadequada, criando-se a classificação do AISI (*American Iron and Steel Institute*) em cinco diferentes categorias de aços inoxidáveis (SILVA et al, 2011; TELLES, 2003):

i. Austeníticos. Possuem microestrutura austenítica (fase γ , Figura 1), com estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC), à temperatura ambiente. Tem como característica uma elevada resistência à corrosão, além de alta resistência à tração e bom alongamento. Possuem Ni como elemento estabilizador de austenita (ou seja, é o elemento responsável pela formação dessa fase). Não são magnetizáveis (CHIAVERINI, 1998; PADILHA et al, 2002, SCHAKELFORD, 2015). O aço 304, altamente empregado na indústria de alimentos, é classificado como austenítico.

Figura 1. Diagrama de fases do sistema Fe-Fe₃C: aços (até 2,14% C) e ferros fundidos (acima de 2,14% C)



Fonte: Adaptado de CALLISTER (2015).

ii. Ferríticos. Possuem microestrutura essencialmente ferrítica (fase α), Figura 1), com estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC), à temperatura ambiente. Apresenta como estabilizador de ferrita o cromo, além de outros elementos, como alumínio, nióbio, molibdênio e titânio. São magnetizáveis (SMITH, 1993; PADILHA *et al*, 2002).

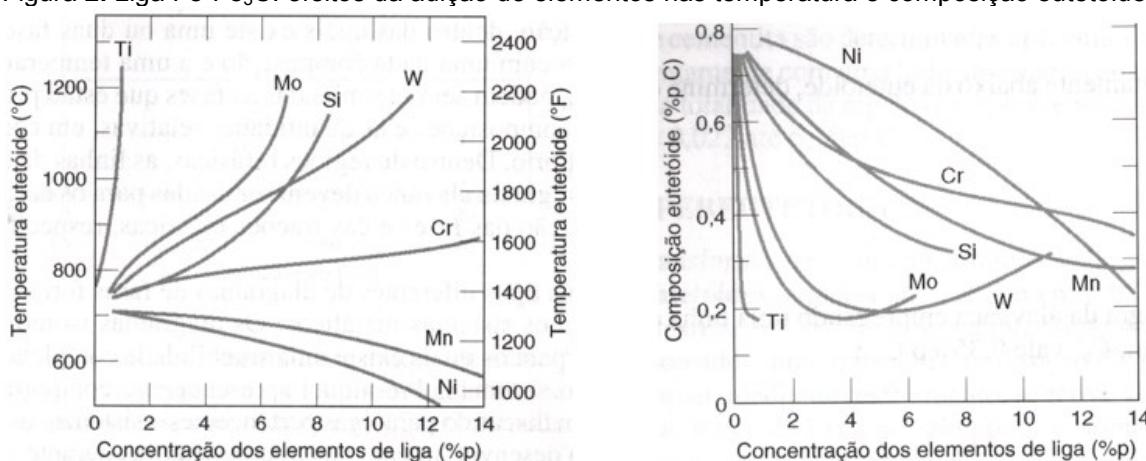
iii. Martensíticos. Possuem estrutura cristalina de corpo centrado tetragonal chamada martensita, formada após rápido aquecimento. Essa estrutura lhes confere dureza, resistência e ductilidade. São magnetizáveis (SHACKELFORD, 2015; TELLES, 2003).

iv. Endurecíveis por precipitação. Possuem microestrutura multifásica formada a partir de microestrutura de fase única, o que lhes conferem elevadas resistência e dureza (SHACKELFORD, 2015). O aumento de sua resistência ocorre com formação de partículas muito pequenas e dispersas uniformemente de uma fase no interior da fase matriz (as pequenas partículas da nova fase são conhecidas como precipitados) (CALLISTER, 2015).

v. Duplex. Consta de uma combinação das microestruturas austenita e ferrita (SCHADE *et al*, 2008).

A adição de elementos liga em concentrações significativas produz alterações drásticas na Figura 1, como indicado na Figura 2. Por exemplo, o aumento da concentração de Ni, reduz a temperatura (727°C) e composição (0,76%C) do eutetoide (ponto em que uma fase sólida se transforma em duas fases sólidas).

Figura 2. Liga Fe- Fe_3C : efeitos da adição de elementos nas temperatura e composição eutetoide.



Fonte: Adaptado de CALLISTER (2015)

3.2 – Tipos de aços utilizados na indústria de alimentos

Os variados tipos de aços austeníticos são classificados pelo AISI (American Iron and Steel Institute), divididos nas séries 200 e 300. Para a série 300, o aço apresenta composição de 16 a 25% de cromo e níquel entre 7 e 22%, além de outros elementos liga e menores quantidades. No caso da série 200, a concentração de níquel é reduzida para até 6%, e existe o acréscimo de manganês (Mn), em até 15% de concentração (TELLES, 2003).

O tipo 304 é empregado em cerca de 50% de todas as aplicações na indústria de alimentos, devido à sua combinação custo relativamente baixo e de resistência a corrosão, evitando a contaminação dos produtos no interior dos equipamentos (TELLES, 2003).

Os tipos 316 e 317, que contêm molibdênio, apresentam ainda melhor resistência à corrosão (especialmente por pites e sob tensão – itens 3.4.3 e 3.4.5, respectivamente), o que é uma característica desejável. Em empresas em que se trabalha com produtos corrosivos (por exemplo o ácido cítrico), é feita a opção por aplicar o aço 316. No entanto, não são tão frequentemente aplicados devido ao seu elevado custo e ao fato de necessitar da adição de níquel para manter a estrutura austenítica, em contraposição à ação formadora de ferrita do molibdênio (TELLES, 2003; CARBÓ, 2008).

Existem, ainda, as ligas “L”, como 304L e 316L, com características semelhantes a, respectivamente, 304 e 316, mas que possuem um teor extrabaixo de C (abaixo de 0,035%). Os aços inoxidáveis com baixo teor de carbono são aplicados em projetos que incluem soldagem ou demais condições que submetam a liga à faixa de 450 a 900°C, a fim de evitar corrosão intergranular (item 3.4.1) (CARBINOX, 2012).

Já os aços inoxidáveis da série 400 são divididos nos tipos ferríticos e martensíticos. Nessa classificação, os do primeiro tipo apresentam maior concentração de cromo e menor de carbono em relação aos do segundo (CARBÓ, 2001).

Na Tabela 2 são apresentadas as características de alguns dos principais aços inoxidáveis aplicados na indústria de alimentos (304L e 316L).

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos aços 304L e 316L.

AISI/UNS	Resistência ao escoamento MPa	Resistência à tração MPa	Alongamento Mínimo, %	Microestrutura
304L	210	515-680	45	Austenita
316L	220	515-690	40	Austenita

Fonte: Adaptado de SENATORE *et al* (2007).

3.3 – Propriedades

Na Tabela 3 apresentam-se vários aços inoxidáveis, inclusive o de resistência ultra-alta (AISI 17-7PH), incomumente forte e resistente à corrosão, resultante de tratamentos térmicos de endurecimento por precipitação.

Tabela 3. Aços inoxidáveis: composições, propriedades mecânicas e aplicações (continua).

Nº AISI	Nº UNS	Composição (%p)	Condição	Resistência a Tração [MPa (ksi)]	Escoamento [MPa (ksi)]	Ductilidade [%AE em 50mm (2in.)]	Aplicações Típicas
409	S40900	0.08 C, 11.0 Cr, 1.0 Mn, 0.50 Ni, 0.75 Ti	Recozido	380 (55)	205 (30)	20	Componente de exaustão automotiva
446	S44600	0.20 C, 25 Cr, 1.5 Mn	Recozido	515 (75)	275 (40)	20	Válvulas, moldes para vidro, câmara de combustão
304	S30400	0.08 C, 19 Cr, 9 Ni, 2.0 Mn	Recozido	515 (75)	205 (30)	40	Equipamentos para processamento químico e de alimentos
316L	S31603	0.03 C, 17 Cr, 12 Ni, 2.5 Mo, 2.0 Mn	Recozido	485 (70)	170 (25)	40	Construções com solda
410	S41000	0.15 C, 12.5 Cr, 1.0 Mn	Recozido T & R ^a	485 (70) 825 (120)	275 (40) 620 (90)	20 12	Canos de rifles, peças de motores de jatos

Tabela 3. Aços inoxidáveis: composições, propriedades mecânicas e aplicações (continuação e conclusão).

Nº AISI	Nº UNS	Composição (%p)	Condição	Resistência a Tração [MPa (ksi)]	Escoamento [MPa (ksi)]	Ductilidade[%AE em 50mm (2in.)]	Aplicações Típicas
440A	S44002	0.70 C, 17 Cr, 0.75 Mo, 1.0 Mn	Recozido	725 (105)	415 (60)	20	Mancais e rolamentos, instrumentos cirúrgicos
17-7PH	S17700	0.09 C, 17 Cr, 7 Ni, 1.0 Al, 1.0 Mn	Endurecido por precipitação	1790(260)	1650(240)	5	
				1450(210)	1310(190)	1–6	Molas, facas, vasos de pressão

a - T & R significa temperado e revenido.

Fonte: Adaptado de CALLISTER (2015).

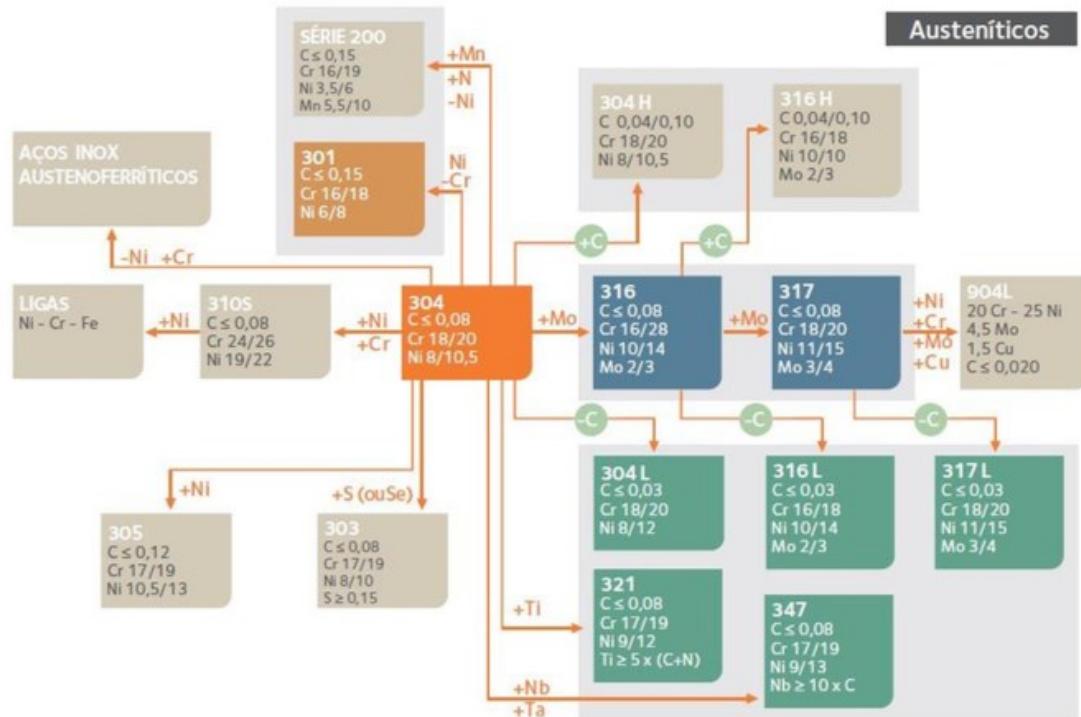
3.3.1 – Aços inoxidáveis austeníticos

São não-magnéticos e não apresentam grande coeficiente de dilatação (em torno de $16,5 \text{ mm/m}^{\circ}\text{Cx}10^{-3}$), abaixo de aços carbono e ferríticos (em torno de $11,5 \text{ mm/m}^{\circ}\text{Cx}10^{-3}$) (TELLES, 2003).

Apresentam grande resistência à corrosão, além de boa resistência à tração e bom alongamento. Além disso, são conhecidos pela sua dureza, e resistência a altas e baixas temperaturas (CHIAVERINI, 1998). Também são conhecidos pela grande resistência a fadiga mecânica e por serem suscetíveis a deformação a frio (TELLES, 2003).

A variação da concentração dos elementos na composição do aço inoxidável pode permitir a obtenção de propriedades mais adequadas para determinados propósitos, devido à mudança estrutural decorrente, como pode ser verificado na Figura 3. Como exemplo, a variação da composição de Mo do aço 304 para o 316, confere a ele maior resistência à corrosão sob tensão e por pite (DILLON, 1995; SOURMAIL, 2001).

Figura 3. Fluxograma das variações de composição a partir do aço inoxidável austenítico



Fonte: CARBÓ (2008).

3.3.2 – Aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos

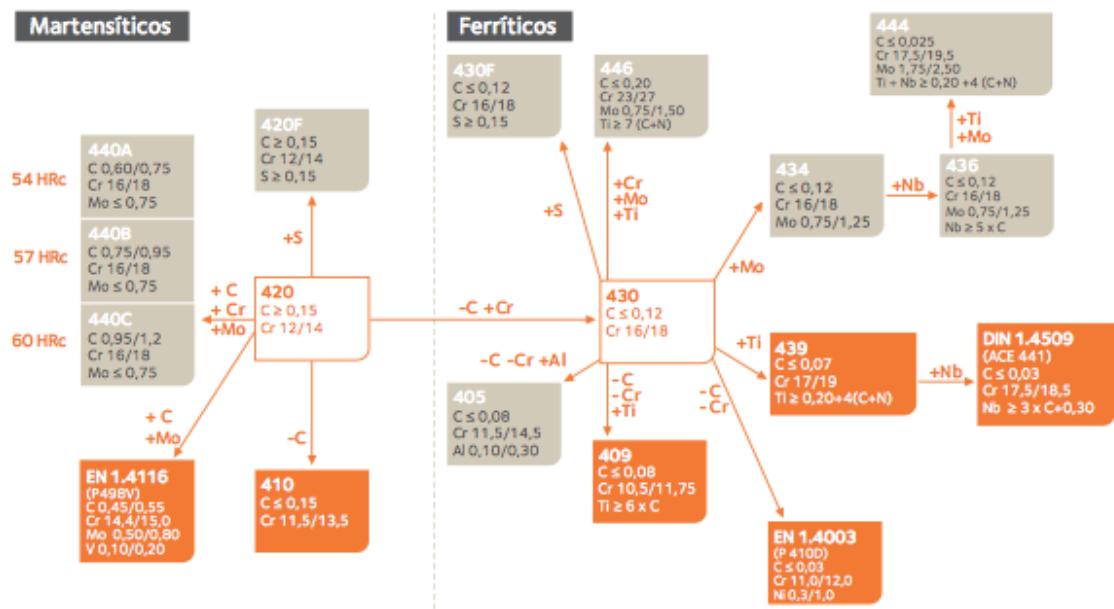
A maioria dos tipos de aços ferríticos e martensíticos não apresentam níquel em sua composição, e possuem de 12 a 30% de cromo (TELLES, 2003).

Não são tão aplicáveis como os austeníticos devido à menor ductibilidade e soldabilidade (SMITH, 1993). Por outro lado, o relativo baixo custo e a excelente resistência sob tensão, dão a esse aço uma considerável atenção. Apresentam, ainda, alta condutividade térmica e baixa expansão linear (SHAN *et al*, 2011).

O principal aço ferrítico é o AISI 430, com 16%Cr e ótima resistência à corrosão. No entanto, apresenta soldas fragilizadas como limitação, por não ser tão resistente à corrosão. Já entre os martensíticos, o aço 420 é o mais conhecido, cuja composição apresenta aproximadamente 12% de Cr e 0,35% de C (CARBÓ, 2001). Variações dos aços 420 e 430, de acordo com a composição, podem ser verificadas na Figura 4.

Figura 4. Fluxograma das variações de composição a partir do aço inoxidável ferrítico 430 e martensítico 420.

Aços inoxidáveis da Série 400



Fonte: CARBÓ (2008).

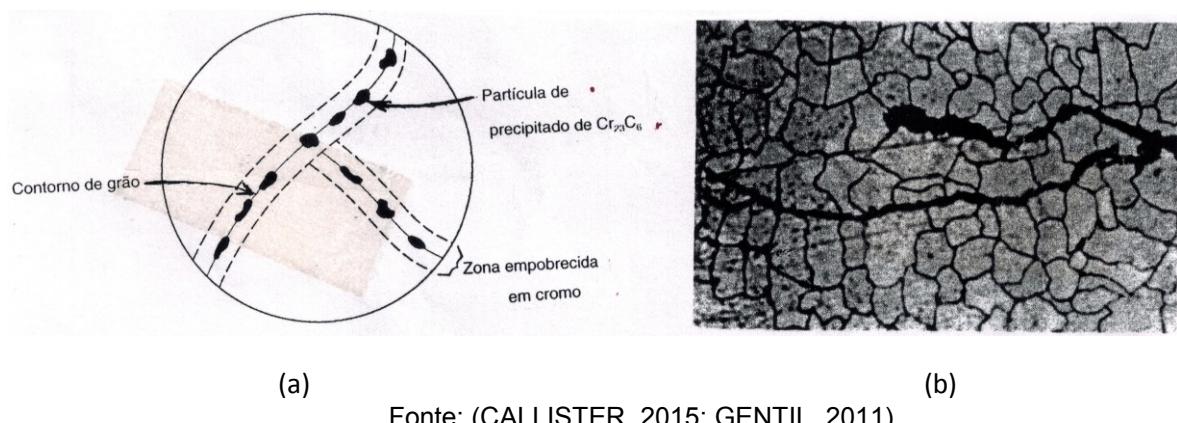
3.4 – Corrosão

A corrosão se caracteriza como a perda uniforme de espessura a partir da superfície do material, uma vez que se encontra em meio corrosivo (CARBINOX, 2012). A seguir, são abordados os diversos tipos de corrosão em aços inoxidáveis. Cabe, ainda, destacar o íon cloreto como causador de diversos tipos de corrosão em vários tipos de aços inoxidáveis, como abordado nos itens seguintes.

3.4.1– Corrosão Intergranular

Define-se grão como um cristal isolado em um sólido, com a característica de as suas células unitárias estarem organizadas na mesma direção. A interface entre dois grãos, denominada contorno de grão, é, como toda interface, uma região de maior energia, onde, assim, pode ocorrer corrosão. A corrosão intergranular ocorre justamente com a formação de trincas microscópicas ao longo do contorno dos grãos, uma vez que ao seu redor ocorre a sensitização, que é a precipitação de carbonetos de Cr, resultantes da reação de carbono e cromo, como mostrado na Figura 5 (CALLISTER, 2000; CARBINOX, 2012).

Figura 5. Corrosão intergranular do aço inox: (a) ilustração da precipitação do carboneto e (b) material exposto a cloreto e a temperatura (entre 500°C e 800°C).



Fonte: (CALLISTER, 2015; GENTIL, 2011)

Para a prevenção desse tipo de corrosão, recomenda-se a utilização das ligas “L” (com baixo teor de carbono, item 3.2) ou a aplicação de materiais estabilizados ao Ti, Nb e Ta.

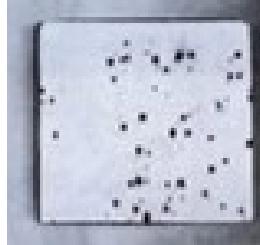
3.4.2 – Corrosão por Erosão

A corrosão por erosão (ou corrosão-erosão) corresponde à deterioração do material pela ação abrasiva de fluidos corrosivos escoando em contato com aço, podendo ser incrementada pela ação de pequenas partículas sólidas em suspensão. Pode ocorrer em qualquer tipo de aço inoxidável, quando a velocidade relativa de circulação de líquido é maior que 3m/s. Ocorre mais comumente em estrangulamentos e desvios de fluxos, como cotovelos e curvas. Uma forma eficiente para prevenir esse tipo de corrosão é o emprego de aços inoxidáveis duplex (item 3.1) (GENTIL, 2011; TELLES, 2003, CARBINOX, 2012).

3.4.3 – Corrosão por Pites

A corrosão por pites (também conhecida como localizada ou puntiforme) pode ocorrer em quase todos os tipos de aços inoxidáveis, quando a passivação é rompida ou não consegue se formar totalmente. Como resultado, são formados buracos de profundidade angulosa muito superiores ao diâmetro. A profundidade dos furos pode chegar a toda a espessura do material e, devido à sua distribuição irregular, a estimativa de tempo de vida da peça afetada é inviabilizada. Uma das causas desse tipo de corrosão é a presença do íon cloreto (Figura 6) (TELLES, 2003; GENTIL, 2011).

Figura 6 – Corrosão por pites em aço 304, causada por íon cloreto.



Fonte: Adaptado de CARBÓ (2008).

Para aumentar a resistência a esse tipo de corrosão é recomendável a adição de elementos como Cr, Mo e N.

3.4.4 – Corrosão por Frestas

A corrosão por frestas é caracterizada por um ataque localizado e consequente formação de um interstício (espaço reduzido e estreito), que pode ter sido criado já na construção do equipamento (projeto) ou durante o próprio processo (por exemplo, uma incrustação ou um depósito nas paredes do mesmo).

Podem ser causadas também pela ação do íon cloreto, dependendo da temperatura e pH (CARBÓ, 2008; CARBINOX, 2012). Na Figura 7 apresenta-se uma ilustração.

Figura 7 – Corrosão por fresta em aço inoxidável.



Fonte: CARBÓ (2008).

Assim como no caso de corrosão por pites, para corrosão em frestas, os aços austeníticos apresentam maior resistência devido à ação do Ni, que favorece a repassivação do material em regiões onde houve quebra do filme passivo por estas formas de corrosão. (CARBÓ, 2008). A adição de Cr, Mo e N também aumenta a resistência a corrosão por frestas (CARBINOX, 2012).

3.4.5 – Corrosão sob tensão fraturante

A corrosão sob tensão ocorre devido à associação de três fatores: tensões aplicadas ou residuais do processo de fabricação, meio agressivo (contendo cloretos) e temperatura acima de 60°C. Com um ataque localizado, a corrosão sob tensão fraturante (CSTF) pode ser verificada pelo surgimento de trincas radiais que se propagam rapidamente, como pode ser visto na Figura 8 (CARBÓ, 2008; CARBINOX, 2012).

Figura 8 – Corrosão sob tensão em autoclave de aço inoxidável 304.



Fonte: CARBÓ (2008).

Essa corrosão é considerada um grande problema para aços austeníticos, mas um elevado aumento no teor de níquel pode reduzir risco desse tipo de corrosão.

Assim como no caso de corrosão por erosão (item 3.4.2), os aços inoxidáveis duplex ou ferríticos são uma solução para esse problema (CARBÓ, 2008; CARBINOX, 2012).

3.5 – Crescimento Microbiano

Uma vez que uma superfície metálica é submersa em líquidos (água, normalmente), ocorre a formação de um biofilme (GENTIL, 2003). O biofilme é um ecossistema microbiológico complexo, em que vivem populações desenvolvidas a partir de uma única ou diferentes espécies, podendo ser bactérias, fungos, protozoários ou mesmo algas. Quando esses micro-organismos são associados a seus produtos extracelulares, constituem uma matriz orgânica polimérica e se encontram aderidos a uma superfície (COSTA, 1999; MACEDO, 2006; JAY,

2005).

Como mencionado previamente, a superfície lisa do aço inoxidável evita a deposição de sujidades e o crescimento microbiano, que podem, por exemplo, causar doenças por ingestão de alimentos contaminados durante processos de produção e distribuição (MONTEIRO *et al*, 2004). Além disso, de acordo com Rodrigues *et al* (2010), como o aço inoxidável aceita alto grau de polimento, apresenta superfície lisa e sem falhas e a limpeza do equipamento é facilitada.

Entretanto, mesmo sendo difundida a ideia de o aço inoxidável apresentar superfície não rugosa, ela não é, de acordo com Griffith *et al* (2015), suficientemente polida para prevenir a deposição de bactérias. Segundo a ANVISA (2009), contaminação cruzada é causada pela transferência de micro-organismos presentes em um alimento ou superfície para utensílios ou equipamentos. Muitas doenças são causadas justamente pela contaminação cruzada, e podem estar relacionadas a esse tipo de crescimento microbiano, como são os casos de *Listeria monocytogenes* em fatiadores de carne (FERREIRA *et al*, 2014), ou mesmo a contaminação de carnes relacionados ao crescimento causado por biofilmes de *Escherichia coli* O157:H7, em equipamentos de processo (GIAOURIS *et al*, 2014).

A formação de biofilmes por *Staphylococcus spp.* em superfícies de equipamentos utilizados em uma indústria de laticínios foi avaliada por Brabes *et al* (2004). Em um estudo comparativo entre aço inoxidável, vidro e polipropileno, a superfície que proporcionou melhores condições para desenvolvimento de biofilmes foi o aço inoxidável (KASNOWSKI *et al*, 2010). No entanto, para fins de aplicação em equipamentos de processo, em que se trabalha com altas vazões e pressões, materiais como vidro e polipropileno são inadequados. O aço inoxidável é uma opção viável, pois apresenta boa resistência à tração, bom alongamento, dureza e resistência a altas e baixas temperaturas. Além disso, quando comparado a outros materiais metálicos, apresenta melhor resistência à corrosão e menor susceptibilidade a crescimento microbiano.

O zeólito de prata é um revestimento anti-corrosivo, com potencial de restringir o crescimento microbiano e inibir a formação de biofilme. Geralmente, zeólitos são alumino-silicatos cristalinos porosos, com forte aderência e boa

resistência à corrosão, enquanto a prata apresenta propriedades antimicrobiais (GRIFFITH *et al*, 2015). Para o problema de contaminação bacteriana, Griffith *et al* (2015) estudaram o impacto da aplicação desse revestimento de zeólito de prata no aço inoxidável na formação das bactérias citadas. Os resultados indicaram que o incremento desse revestimento reduz a capacidade de adesão dessas bactérias, o que sugere que zeólito de prata pode funcionar como um revestimento útil em superfícies que estejam em contato com alimentos e evitar proliferação de doenças.

No entanto, conforme visto no Capítulo 2, este assunto é controlado por legislação. Para aplicação na indústria de alimentos, é necessária não só a aprovação por órgãos regulamentadores, mas também que se determine uma forma de aplicação economicamente prática e ambientalmente segura.

De qualquer forma, é extremamente importante que sejam empregados programas e procedimentos de higienização corretos, como o Procedimento Padrão de Higiene Operacional e Boas Práticas de Fabricação (BPF) em indústrias de alimentos (KAZNOWSKI *et al*, 2010). Um exemplo de boa prática de fabricação é manter superfícies que entram em contato com alimentos em bom estado de conservação, sem rachaduras, trincas ou outros defeitos, uma vez que estes podem possibilitar o crescimento microbiano (ANVISA, 2004).

4 – CONCLUSÕES

A preocupação com a qualidade dos alimentos processados leva a reflexões acerca do tipo de material com os quais os alimentos podem entrar em contato, desde a etapa de processamento até a embalagem. Existem estudos que indicam os tipos materiais mais indicados para equipamentos de processamento de alimentos, como é o caso do aço inoxidável.

Baseado em dados científicos, diferentes países, como Brasil, Canadá, Estados Unidos e a União Europeia têm legislações específicas para tratar o uso de materiais em contatos com alimentos. Apesar de algumas variações entre as leis, de um modo geral, todos os países recomendam o aço inoxidável e promovem restrições a certos tipos de metais. O cobre, por exemplo, sofre restrições de uso em todas as legislações observadas.

A legislação aplicada para equipamentos em contato com alimentos é a mesma que a aplicada para embalagens (Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007), visto que são incluídos nos mesmos critérios.

Devido à menor susceptibilidade à corrosão, os principais tipos de aços inoxidáveis usados em indústrias de alimentos são AISI 304, 304L, 316, 316L e 317, sendo o 304 o mais utilizado, por apresentar menor custo.

Mesmo apresentando melhor resistência à corrosão, o aço inoxidável está sujeito a corrosões dos tipos: intergranular, por erosão, por frestas, por pites ou sob tensão. As medidas utilizadas para controlar a corrosão passam por incrementar a liga de aço inoxidável com elementos que contribuam para melhor resistência a esse problema, como é o caso do aço 316, que apresenta elevada concentração de molibdênio.

Pode haver, ainda, a formação de biofilmes em superfícies de aço inoxidável, o que pode levar a contaminação cruzada de alimentos. Como exemplos, existem casos de alimentos contaminados por *Listeria monocytogenes*, *Escherichia* e *Staphylococcus spp*, após o contato com materiais de processamento ou cocção de alimentos.

Ao ser comparado a outros materiais metálicos, o aço inoxidável mostra-se como a opção com melhor resistência à corrosão e menor susceptibilidade a crescimento microbiano.

Em relação a materiais não metálicos, como, por exemplo, vidro e polipropileno, apresentam melhores condições para desenvolvimento de biofilmes. Porém, quando se ponderam as propriedades necessárias para equipamentos de processo, como boa resistência à tração, bom alongamento, dureza e resistência a altas e baixas temperaturas, o aço inoxidável é considerado o material mais adequado para aplicação em equipamentos que entram em contato com alimentos.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.001**. Rio de Janeiro, 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA), 2004. Disponível em <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/389979/Cartilha+Boas+Práticas+para+Serviços+de+Alimentação/d8671f20-2dfc-4071-b516-d59598701af0>>. Acesso em 6 nov. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA), 15 jan. 2009. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/noticias//asset_publisher/FXrpx9qY7FbU/content/anvisa-alerta-para-perigo-de-contaminacao-cruzada-em-alimentos/219201/pop_up?inheritRedirect=false>. Acesso em: 31 out. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA), 10 nov. 2014. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/duvidas-frequentes-materiais-em-contato-com-alimentos>>. Acesso em: 13 jun. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA), 16 ago. 2016. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/388701/Codex+Alimentarius/10d276cf-99d0-47c1-80a5-14de564aa6d3>>. Acesso em: 18 jun. 2017.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD/NSF INTERNATIONAL STANDARD. **Food Equipment Materials – ANSI/NSF 51-1997**. Ann Arbor: NSF International. 1998.
- ASKELAND, D. R. ; PHULÉ, P. P. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- AZEVEDO, S. M.; CARDOSO, M. G.; PEREIRA, N. E.; RIBEIRO, C. F. S.; SILVA, V. F., AGUIAR, F. C. **Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais**. Ciênc. agrotec., Lavras. v.27, n.3, p. 618-624, maio/jun. 2003.
- BASS, J. K.; FINE, H.; CISNEROS, G. J. **Nickel hypersensitivity in the orthodontic patient**. Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop., St. Louis, v. 103, n. 3, p. 280-285, 1993.
- BLANCO-DALMAU, L.; CARRASQUILLO-ALBERTY, H.; SILVA-PARRA, J. **A study of nickel allergy**. The Journal of Prosthetic Dentistry. v. 52, n. 1, p. 116-9, 1984.
- BRABES, K.C.S.; et al. **Avaliação de Processos de Adesão e Formação de Biofilmes por *Staphylococcus* spp.** Produtores e Pauciprodutores de Enterotoxinas em Superfícies Utilizadas em uma Indústria de Laticínios. Instituto de Laticínios Cândido Tostes. Anais do XXI Congresso Nacional de Laticínios. Juiz de Fora. MG: EPAMIG. v.59, n. 339, p. 190-194, jul/ago 2004.
- BRASIL. Lei nº 9.055, de 1º de junho de 1995. **Disciplina a extração, industrialização, utilização, comercialização e transporte do asbesto/amianto e dos produtos que o contenham, bem como das fibras naturais e artificiais, de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 jun. 1995. Disponível

em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9055.htm>. Acesso em: 26 set. 2017.

BRASIL. Lei nº 9.832, de 14 de setembro de 1999. **Proíbe o uso industrial de embalagens metálicas soldadas com liga de chumbo e estanho para acondicionamento de gêneros alimentícios, exceto para produtos secos ou desidratados.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 set. 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9832.htm>. Acesso em: 20 jun. 2017.

BRASIL. Resolução RDC nº 20, de 22 de março de 2007. **Aprova o "Regulamento Técnico sobre Disposições para Embalagens, Revestimentos, Utensílios, Tampas e Equipamentos Metálicos em Contato com Alimentos".** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 mar. 2007. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/390501/ALIMENTOS%2BRESOLU%25C3%2587%25C3%2583O%2B%2BRDC%2BN%25C2%25BA.%2B20%252C%2BDE%2B22%2BDE%2BMAR%25C3%2587O%2BDE%2B2007..pdf/d04ac5a7-f1c9-4eb5-98c1-989cede53650>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

BRASIL. Resolução RDC nº 26, de 2 de julho de 2015. **Dispõe sobre os requisitos para rotulagem obrigatória dos principais alimentos que causam alergias alimentares.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 jul. 2015.

Disponível em:

<http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2694583/RDC_26_2015_.pdf/b0a1e89b-e23d-452f-b029-a7bea26a698c>. Acesso em: 23 out. 2017.

BURJAILI, M.M., **Caderno didático de Materiais da Indústria Química, Faculdade de Engenharia Química/Universidade Federal de Uberlândia,** 2010.

CAETANO, G. Q. **Soldagem similar de aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos pelo processo de “friction stir welding”.** 2016. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARBINOX – DIVISÃO INOXIDÁVEIS, 2012. Disponível em: <http://www.carbinox.com.br/catalogos/catalogo_1.pdf>. Acesso em: 23 out. 2017.

CARBÓ, H. M. **Aço Inoxidável: Aplicações e Especificações.** São Paulo: Acesita, 2008.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos.** 7a edição, 1998. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Brasil, [S.d.].

COSTA, E. T. R. **Desenvolvimento de metodologia para detecção da adesão microbiana em superfície de aço inoxidável.** Seropédica, RJ. 81p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Veterinária) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999.

COUNCIL OF EUROPE. Disponível em:

<http://www.mast.is/Uploads/document/guidelines_metals_alloys_used_as_food_contact_materials.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2017.

- DILLON, C. P. **Corrosion resistance of stainless steels**. CRC Press, 1995.
- ELLIS, N. **Should you stick with stainless?** Machine desing.com. p. 52-57, 2009.
- FEASBY, W. H.; ECCLESTONE, E. R.; GRAINGER, R. M. **Nickel sensitivity in pediatric dental patients**. Pediatr. Dent. Chicago, v. 10, n. 2, p. 127-129, 1988.
- FELLOWS, P. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2.ed. Artmed. 2006.
- FERREIRA, V., WIEDMANN, M., TEIXEIRA, P. and STASIEWICZ, M.J. **Listeria monocytogenes persistence in food-associated environments**: Epidemiology, strain characteristics, and implications for public health. J. Food Prot. v. 77, p. 150–170. 2014.
- FUCHS, A. M. S.; FRANÇA, M. N., PINHEIRO, M. S. de F. **Guia para normalização de publicações técnico-científicas**. Uberlândia: EDUFU, 268p, 2013.
- G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/politica/noticia/supremo-mantem-lei-federal-que-autoriza-producao-e-venda-do-amianto.ghtml>>. Acesso em: 26 set. 2017.
- G1 MINAS GERAIS. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2010/08/proibicao-de-tachos-de-cobre-pode-mudar-doces-tradicionais-de-minas.html>>. Acesso em: 02 jun. 2017.
- GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2014.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- GIAOURIS, E., HEIR, E., HEBRAUD, M., CHORIANOPOULOS, N., LANGSRUD, S., MORETRO, T., HABIMANA, O., DESVAUX, M., RENIER, S. and NYCHAS, G. **Attachment and biofilm formation by foodborne bacteria in meat processing environments: Causes, implications, role of bacterial interactions and control by alternative novel methods**. Meat Sci. v. 97, p. 298–309. 2014.
- GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. **Food security: The challenge of feeding 9 billion people**. Science. v. 327, p. 812-818, 12 fev. 2010.
- GOVERNMENT OF CANADA, 18 mar. 2015. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/household-products/safe-use-cookware.html>. Acesso em: 27 jun. 2017.
- GRIFFITH, A; NEETHIRAJAN, S; WARRINER, K. **Development and evaluation of silver zeolite antifouling coatings on stainless steel for food contact surfaces**. Journal of Food Safety 35 (2015) 345–354 © 2015 Wiley Periodicals, Inc.
- IBANEZ, J. G.; CARREON-ALVAREZ, A.; BARCENA-SOTO, M.; CASILLAS, N. **Metals in alcoholic beverages: A review of sources, effects, concentrations, removal, speciations and analysis**. Journal of Food Composition and Analysis. v. 21, p. 672-683, 2008.

INDUSTRIAL SPECIALTIES MFG. & IS MED SPECIALTIES (ISM), 2015. Disponível em: <<https://www.industrialspec.com/images/files/food-contact-materials-fda-nsf-and-other-standards.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2017.

ISHIBA, S.; SILVEIRA, J. L.; RODRIGUEZ, C. C. **Estudo da construção de biodigestores tipo indiano por adaptação de caixa de água inox.** Disponível: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/bioindiano1_000g76ql6vw02wx5ok0wtedt3ivxyd4t.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

JAY, J.M. **Biofilmes.** In: Microbiologia de Alimentos. Porto Alegre: Artmed. 6ed., p.673-674, 711p. 2005.

JECFA. **Evaluation of certain food additives and contaminants.** Twenty-sixth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organization, Technical Report Series 683. 1982.

KASNOWSKI, M. C.; MANTILLA, S. P. S; OLIVEIRA, L. A. T; FRANCO, R. M. **Formação de biofilme na indústria de alimentos e métodos de validação de superfícies.** Revista científica eletrônica de medicina veterinária – ISSN: 1679-7353, Niterói, ano VIII, n. 15, jul. 2010.

MACEDO, J. A. B. **Biofilmes Bacterianos: Uma Preocupação Para a Indústria de Alimentos.** MILKNET. 18 de julho de 2006.

MERCOSUL. Resolução GMC 46, 2006. Aprova o “Regulamento técnico Mercosul sobre disposições para embalagens, revestimentos, utensílios, tampas e equipamentos metálicos em contato com alimentos”. Disponível em: <<http://www.sice.oas.org/Trade/MRCSRS/Resolutions/Res4606p.pdf>>. Acesso em 27 jun. 2017.

MONTEIRO, R. Z.; BRUNA, G. C. **O aço inoxidável em cozinhas profissionais.** In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL, 7, São Paulo, 2004.

PADILHA, A. F; RIOS, P. R. **Decomposition of austenite in austenitic stainless steels.** ISIJ International, v. 42, n. 4, p. 325-327, 2002.

PECKNER, D.; BERNSTEIN, I. M. **Handbook of Stainless Steel.** New York, NY. McGraw-Hill, 1977.

POHL, P. **What do metals tell us about wine?** Trends in Analytical Chemistry, v. 26, n. 9, p. 941-949, 2007.

QUINTAES, K. D. **Utensílios para alimentos e implicações nutricionais.** Rev. Nutr., Campinas, v. 13, n. 3, p. 151-156, set./dez. 2000.

RODRIGUES, E.; GROOTENBOER, C. S.; MELLO, S. C. R. P.; CASTAGNA, A. A. **Manual de boas práticas de fabricação.** Manula Técnico, 26. 23 p.; 30 cm. Niterói: Programa Rio Rural, 2010.

SCF. **Reports of the Scientific Committee for Food.** Thirty-first series. Nutrient and energy intakes for the European Community. 1993.

- SCHADE, C., SCHABERL, J. W.; LAWLEY, A. **Stainless steel AISI grades for PM applications.** International Journal of Powder Metallurgy. Princeton, New Jersey. v. 44, p. 57-67, 2008.
- SENATORE, M; FINZETTO, L.; PEREA, E. **Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis duplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L.** R. Esc. Minas, Ouro Preto, 60(1): 175-181, jan. mar. 2007.
- SHACKELFORD, J. F., **Introduction to materials science for engineers**, 8th e d./Global Edition. Upple Saddle River: Prentice-Hall, 2015.
- SHAN, Y *et al.* **Mechanisms of Solidification Structure Improvement of Ultra Pure 17 wt% Cr Ferritic Stainless Steel by Ti, Nb Addition.** Journal of Materials Science & Technology v. 27, n. 4, p. 352-358, abr. 2011.
- SILVA, A. L. C.; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais.** 3 ed. [S.1.]: EDGARD BLUCHER, 2011.
- SMITH, W. F. **Structure and Properties of Engineering Alloys.** 2nd edition ed. [S.1]: McGraw-Hill. New York, 1993.
- SOURMAIL, T. **Precipitation in creep resistant austenitic stainless steels.** Materials Science and Technology v. 17, n. 1, p. 1-14, 1 jan. 2001.
- TELLES, P.S. **Materiais e equipamentos de processo.** 6. ed. Rio de Janeiro: Interciênciac, 2003.
- UNIÃO EUROPEIA, 2017. Disponível em: <https://europa.eu/european-union/about-eu/institutions-bodies/european-council_pt>. Acesso em: 27 jun. 2017.