

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Química - Câmpus de Araraquara

Maria Fernanda Curtolo Moraes

Análise de desempenho em corrosão de lâminas de aço: investigação da influência
de diferentes embalagens de papéis

Araraquara
2023

Maria Fernanda Curtolo Moraes

Análise de desempenho em corrosão de lâminas de aço: investigação da influência
de diferentes embalagens de papéis

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Kelly Johana Dussán
Medina

Araraquara
2023

M827a Moraes, Maria Fernanda Curtolo
Análise de desempenho em corrosão de lâminas de aço :
investigação da influência de diferentes embalagens de papéis
/ Maria Fernanda Curtolo Moraes. -- Araraquara, 2023
41 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Química) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de
Química, Araraquara
Orientadora: Kelly Johana Dussán Medina

1. Lâminas. 2. Papéis. 3. Temperatura. 4. Umidade. 5.
Corrosão. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Química, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Maria Fernanda Curtolo Moraes

Análise de desempenho em corrosão de lâminas de aço: investigação da influência de diferentes embalagens de papéis

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Araraquara, 11 dezembro de 2023

Banca examinadora

Prof^a. Dr^a. Kelly Johana Dussán Medina

Prof^a. Dr^a. Lorena Oliveira Pires

Prof^a. Dr^a. Maria Angélica Martins Costa

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, principalmente minha mãe, Sandra Luisa Curtolo, e ao meu pai, Dacio Theodoro Moraes, que sempre me apoiaram em todas as minhas escolhas, e sempre foram um pilar na minha vida, sempre me motivando a seguir em frente! Sem vocês não teria conseguido passar por tudo isso! Além de agradecer ao meu namorado, Matheus Kannebley, por sempre me motivar e me ajudar nos momentos mais difíceis, seja durante a graduação ou pessoalmente!

Além disso, gostaria de agradecer aos meus amigos, Bruna Borges, Giulia Machado, Yves Cassiano, Pedro Tito, Heloísa Bonimcontro, Beatriz Luiz, Lucas Gimenes, Maria Rosa Muci e Bruna Camargo, que sempre me acompanharam durante a graduação e projetos de extensão, e eu posso ter certeza de que compartilhamos muitos momentos bons e que será uma amizade para a vida!

Finalizando, gostaria de agradecer aos meus amigos que fiz durante o meu estágio, principalmente a minha Coach, Maria Eduarda Kruger, e meu Diretor, Daniel Soffin, por sempre me apoiarem e por possibilitarem a realização desse trabalho! Juntamente, gostaria de agradecer a Professora Dr.^a Kelly Medina, por ter aceitado o meu convite e por ter me guiado durante esse trabalho.

“Todos os nossos
sonhos podem ser tornar
realidade se tivermos
a coragem de os perseguir.”

(Walt Disney)

RESUMO

Atualmente, muitas pessoas associam o ato de barbear com a sensação de higiene e de limpeza. Para isso, é necessário utilizar uma lâmina de barbear, e como todo produto, este é cuidadosamente embalado visando manter as características intrínsecas do produto. O tipo de papel desempenha uma função importante na proteção das lâminas de barbear contra a corrosão, uma vez que as lâminas de barbear são feitas de materiais metálicos que são suscetíveis à corrosão quando expostos à umidade e outros fatores ambientais adversos. Dessa forma, esse trabalho teve como principal objetivo analisar como diversos tipos de papéis, utilizados como embalagens, são capazes de prevenir a corrosão da lâmina de barbear masculinas, de aço inoxidável, nas quais as mesmas foram posicionadas dentro de uma estufa com temperatura e umidade controlada. As análises, foram realizadas utilizando metodologia de planejamento de experimento. Foi realizado um teste, com 8 amostras, em triplicata, com a duração de 28 dias, sendo necessária a realização de algumas retiradas de amostras em dias predeterminados, para quantificar a corrosão no material, sendo possível observar que das 8 amostras, 4 amostras (Papeis 3R, 3V, 4R e 4V) obtiveram uma ótima *performance*, devido as suas características de gramatura e *kit oil*, evitando a corrosão das lâminas. Sendo assim, foi possível realizar a busca de um novo material, no qual os papéis 3R e 4V foram eleitos as melhores opções.

Palavras-chave: lâminas; papéis; temperatura; umidade; corrosão.

ABSTRACT

Nowadays, many people associate the act of shaving with cleanliness and hygiene. For this purpose, it is necessary to have a blade that is perfectly wrapped and packaged, ensuring it reaches the consumer in an ideal state for use. The type of paper plays a crucial role in protecting the blade against corrosion, as it is made from metallic materials susceptible to corrosion when exposed to humidity or other environmental factors. Therefore, this project primarily aims to analyze how different types of paper can prevent corrosion in a stainless-steel blade. The blades were placed inside a climate chamber with controlled temperature and humidity. A design of experiments was conducted for this project, involving a test with eight samples, each in triplicate, over a 28-day period. Periodic inspections were necessary to quantify the corrosion and compare its progression over time. Four samples (Papers 3R, 3V, 4R, 4V) exhibited excellent performance due to characteristics such as grammage and kit oil, effectively preventing corrosion on the blades. Consequently, two new and effective materials were identified as potential candidates for use: Papers 3R and 4V.

Keywords: blades; papers; temperature; relative humidity; corrosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Valores de rigidez para diversos materiais: metais, cerâmicas, polímeros e compósitos	15
Figura 2 Valores de resistência para diversos materiais: metais, cerâmicas, polímeros e compósitos	15
Figura 3 Esquema de classificação para as várias ligas ferrosas.	16
Figura 4 Efeito da presença de cromo na resistência à corrosão para ligas de ferro-cromo.	19
Figura 5 Fotomicrografias da ferrita (a esquerda) e da austenita (a direita)	20
Figura 6 Ilustração das formas de corrosão em materiais.....	23
Figura 7 Imagens das principais formas de corrosão.....	24
Figura 8 Imagem de corrosão por pite, em um tubo de aço inoxidável	25
Figura 9 Diagrama de Ellingham sobre oxidação de metais pelo oxigênio	26
Figura 10 Esquema explicando a eficiência da aplicação do “coating” no papel	28
Figura 11 Ilustração explicando a barreira à oxigênio	29
Figura 12 Fotos dos papeis dobrados utilizados nos experimentos.....	30
Figura 13 Lâminas de aço inox dentro da embalagem	32
Figura 14 Imagem das lâminas considerando a escala de corrosão adotada.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Características Mecânicas e Aplicações Típicas para Aços-Carbono Comuns com Baixo Teor de Carbono e Aços de Alta Resistência e Baixa Liga	18
Tabela 2 Propriedades mecânicas para cada tipo de aço inoxidável e principais aplicações	21
Tabela 3 Opções de revestimentos oleosos para prevenção da corrosão	27
Tabela 4 Propriedades físicas dos papéis testados.....	31
Tabela 5 Escala de corrosão elaborada pela autora	33
Tabela 6 Resultado do teste para amostra 1R e 1V	34
Tabela 7 Resultado do teste para amostra 2R e 2V	35
Tabela 8 Resultado do teste para amostra 3R e 3V	35
Tabela 9 Resultado do teste para amostra 4R e 4V	36
Tabela 10 Médias e desvios padrões para cada amostra.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

WVTR	<i>Water vapor transmission rate</i>
OTR	<i>Oxygen transmission rate</i>
ARBL	Alta resistência e baixa liga
CCC	Estrutura cúbica de corpo centrado
CFC	Estrutura cúbica de face centrada
COBB	Teste padrão usado para medir a quantidade de água que um material, como papel ou cartão, pode absorver em um determinado período.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Metais.....	14
2.2 Ligas Ferrosas	16
2.3 Aços Carbonos.....	17
2.4 Aço inoxidável	19
2.5 Corrosão	22
2.6 A Tipos de corrosão	23
2.7 Fatores que influenciam na corrosão das lâminas.	25
2.8 Proteção das lâminas contra corrosão.....	26
3 OBJETIVOS	29
3.1 Objetivo Geral	29
3.2 Objetivos Específicos	29
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 Materiais	30
4.2 Metodologia.....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de conclusão de curso, é um estudo para concretizar não só novas ideias e teorias, mas também ter conhecimentos práticos experimentais com o principal tema a corrosão de lâminas de aço inoxidável.

É notório que durante o século XX, as pessoas associaram o hábito de se depilar com a sensação de higiene, fazendo com que o rosto “limpinho” fosse sinônimo de limpeza. Um grande exemplo, foi durante a década de 1950, onde os rostos masculinos começaram a demonstrar notoriedade, com uma pele totalmente lisa, como Elvis Presley, a grande estrela do rock¹.

Ao longo do tempo, as grandes empresas começaram a investir mais no setor das lâminas de barbear, trazendo algumas inovações como a mudança do material: de aço carbono para aço inoxidável, apresentando uma maior vida útil do produto para o consumidor².

As lâminas de barbear são normalmente fabricadas em aço inoxidável martensítico, que é formulado para resistir à ferrugem e à corrosão, características essenciais dada a sua exposição à água e à humidade. A composição típica do aço para lâminas de barbear inclui cromo entre 12 e 14,5%, um teor de carbono de cerca de 0,6% e o restante ferro e oligoelementos. O cromo desempenha um papel importante no aumento da resistência à corrosão, formando uma camada protetora na superfície da lâmina, o que ajuda a evitar a ferrugem e a corrosão.²

Entretanto, é de extrema importância que esse objeto seja comercializado em uma embalagem adequada, a fim de garantir não só a vida útil do produto como também oferecer a segurança adequada ao consumidor. A escolha da embalagem adequada para lâminas de barbear pode depender de vários fatores, incluindo o tipo de lâmina, o público-alvo e os requisitos específicos de embalagem.

A embalagem deve garantir a proteção das lâminas de barbear contra danos durante o transporte e armazenamento. Além disso, a embalagem deve ser projetada para minimizar o risco de lesões acidentais. Isso pode incluir um mecanismo de segurança, como uma tampa protetora. Neste contexto, considerações ambientais são cada vez mais importantes na escolha da embalagem. Optar por materiais de embalagem sustentáveis, como papel reciclado ou plástico biodegradável, podem ser uma opção.

Dessa maneira, esse projeto teve como principal prioridade estudar como alguns tipos de papéis, e suas características intrínsecas, desempenham o papel principal: prevenir a corrosão da lâmina de barbear, a fim de entregar ao cliente um produto satisfatório e seguro para uso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor entendimento desse trabalho, é necessário definir alguns conceitos essenciais, como por exemplo, o que é a corrosão, qual a influência da temperatura e umidade nos efeitos da corrosão, e como as diferentes características dos papéis interferem.

2.1 Metais

Atualmente, existe uma vasta gama de materiais disponíveis para serem empregados nos processos produtivos, sendo eles os mais diversos. Porém, para a fabricação de lâminas de barbear, o material escolhido é o metal:

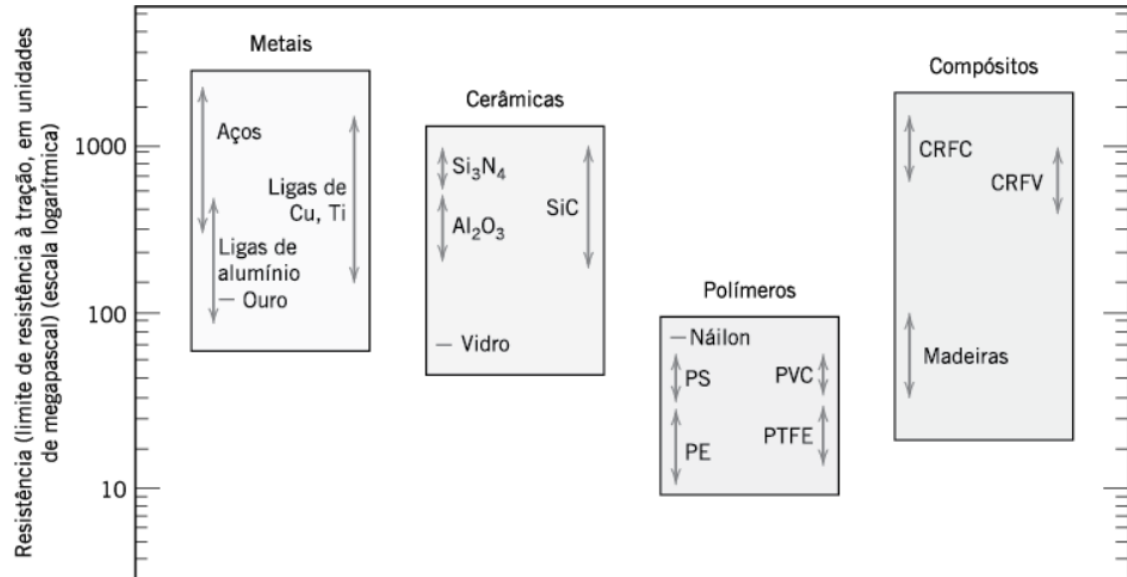
“Os metais são compostos por um ou mais elementos metálicos (por exemplo, ferro, alumínio, cobre, titânio, ouro e níquel) e com frequência também por elementos não metálicos (por exemplo, carbono, nitrogênio e oxigênio) em quantidades relativamente pequenas.”^{6, p 6.}

Sendo assim, sabe-se que os metais possuem diversas características intrínsecas, como condução de eletricidade, calor ou até mesmo propriedades magnéticas:

“Muitas das propriedades dos metais podem ser atribuídas diretamente a esses elétrons. Por exemplo, os metais são extremamente bons condutores de eletricidade e de calor, e não são transparentes à luz visível; uma superfície metálica polida tem aparência brilhosa. Além disso, alguns metais (isto é, Fe, Co e Ni) apresentam propriedades magnéticas desejáveis.”^{6, p 6.}

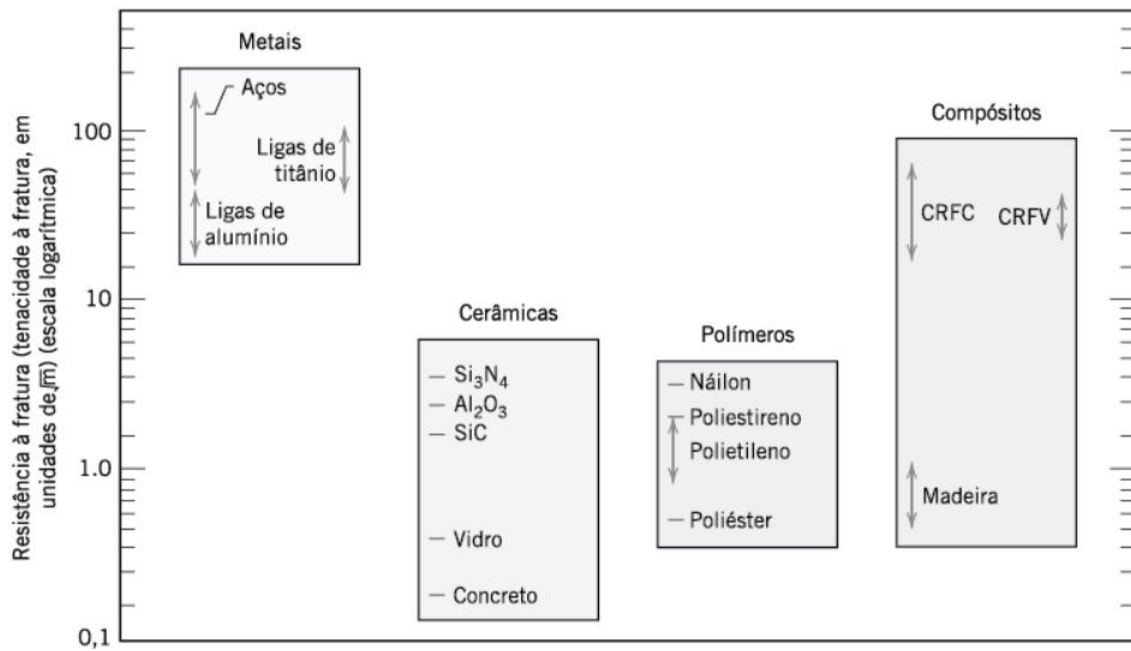
Para melhor entendimento, alguns diagramas são muito importantes para poder ilustrar algumas propriedades como rigidez e resistência. Nas Figura 1 e 2 pode-se observar valores de rigidez e resistência para diversos materiais, como por exemplo, metais, cerâmicas, polímeros e compósitos. Observando-se que os metais (aço, ligas de Cu e Ti, entre outros) são os materiais que apresentam maiores valores de rigidez e resistência.

Figura 1 Valores de rigidez para diversos materiais: metais, cerâmicas, polímeros e compósitos



Fonte: Callister, William (2019)

Figura 2 Valores de resistência para diversos materiais: metais, cerâmicas, polímeros e compósitos



Fonte: Callister, William (2019)

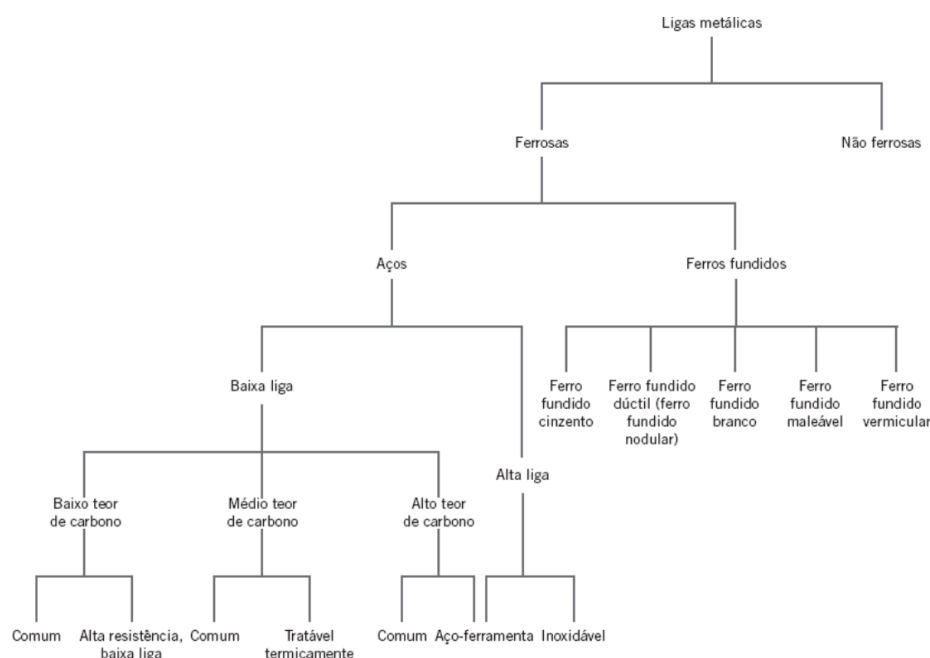
2.2 Ligas Ferrosas

As ligas metálicas são divididas em duas grandes classes, a liga ferrosa e a liga não ferrosa. Para esse trabalho, o enfoque principal são as ligas ferrosas, a qual o principal constituinte é o ferro. Dentro dessa classificação estão presentes os aços e os ferros fundidos.⁶

“As ligas ferrosas – aquelas nas quais o ferro é o constituinte principal – são produzidas em maiores quantidades do que qualquer outro tipo de metal. Essas ligas são especialmente importantes como materiais de construção em engenharia. Seu amplo uso é o resultado de três fatores: (1) compostos contendo ferro existem em quantidades abundantes no interior da crosta terrestre; (2) o ferro metálico e os aços podem ser produzidos empregando técnicas de extração, beneficiamento, formação de ligas e fabricação que são relativamente econômicas; e (3) as ligas ferrosas são extremamente versáteis, no sentido de que elas podem ser adaptadas para exibir uma ampla faixa de propriedades físicas e mecânicas. A principal desvantagem de muitas ligas ferrosas é sua susceptibilidade à corrosão.”⁶, p 522.

Para melhor entendimento de como é realizado a classificação das ligas ferrosas, pode-se observar a Figura 3. Neste contexto, o aço inoxidável é o material comumente utilizado nas lâminas de barbear, sendo considerados aços de alta liga.

Figura 3 Esquema de classificação para as várias ligas ferrosas.



Fonte: Callister, William (2019)

2.3 Aços Carbonos

Como já introduzido, o aço é uma subclassificação de materiais dentro das ligas ferrosas, e é considerado um material muito versátil, podendo conter diversas composições ou elementos:

Aços são ligas ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos de liga; existem milhares de ligas com composições e/ou tratamentos térmicos diferentes. As propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono, que é normalmente inferior a 1,0 %p (porcentagem em peso). Alguns dos aços mais comuns são classificados conforme a concentração de carbono em aços de baixo, médio e elevado teor de carbono. Também existem subclasses em cada grupo, de acordo com as concentrações de outros elementos de liga. Os aços-carbono comuns contêm apenas concentrações residuais de impurezas além do carbono e de um pouco de manganês. Nos aços-liga, mais elementos de liga são adicionados intencionalmente em concentrações específicas.^{6, p 522.}

Dessa forma, os aços podem ser classificados de acordo com o teor de carbono presente no material, mas podem ser classificados de acordo com as ligas que podem ser produzidas. Como, por exemplo, aços com baixo teor de carbono são materiais de baixa resistência e baixa dureza, porém possuem uma ótima tenacidade e ductilidade (Tabela 1). E além de tudo, são materiais de fácil soldagem e os de mais baixo custo para aquisição. O aço de baixo carbono é muito empregado em componentes automobilísticos e formas estruturais (como, por exemplo, pontes, canaletas, tubulações etc.). Dentro dessa classificação, possui também os aços ARBL (aços de alta resistência e baixa liga). Esses materiais, possuem adição de até 10% de elementos como: cobre, níquel, vanádio ou molibdênio, fazendo com que aumente a resistência do material.⁶

Além do aço de baixo teor de carbono citado acima, existem os aços com médio teor de carbono, possuindo de 0,25% a 0,60% de carbono, podem ser tratadas termicamente, além de poderem sofrer adição de elementos para formação de ligas. São muito aplicados em situações que necessitam uma alta resistência do material, bem como resistência à abrasão e tenacidade.⁶

Finalizando a classificação dos aços carbonos, existem os aços com alto teor de carbono, apresentando de 0,60% a 1,4% de carbono na sua composição. São

considerados os materiais mais duros e resistentes, podendo ser aplicados em ferramentas de corte e como matrizes para formar facas, lâminas de cores, molas etc.⁶

Tabela 1 Características Mecânicas e Aplicações Típicas para Aços-Carbono Comuns com Baixo Teor de Carbono e Aços de Alta Resistência e Baixa Liga

Número AISI/SAE ou ASTM	Limite de Resistência à Tração [Mpa (ksi)]	Limite de escoamento [Mpa (ksi)]	Ductilidade [AL% em 50mm (2 in)]	Aplicações Típicas
Aços-Carbono Comuns com Baixo Teor de Carbono				
1010	325 (47)	180 (26)	28	Painéis de automóveis, pregos e arames
1020	380 (55)	210 (30)	25	Tubos; aço estrutural e em chapa
A36	400 (58)	220 (32)	23	Estrutural (pontes e edificações)
A516 Classe 70	485 (70)	260 (38)	21	Vasos de pressão para baixas
Aços de Alta Resistência e Baixa Liga				
A440	435 (663)	290 (42)	21	Estruturas que são aparafusadas ou rebitadas
A633 Classe E	520 (75)	380 (55)	23	Estruturas usadas em baixas temperaturas ambientes
A656 Classe 1	655 (95)	552 (80)	15	Chassis de caminhões e vagões de trem

Fonte: Callister, William (2019)

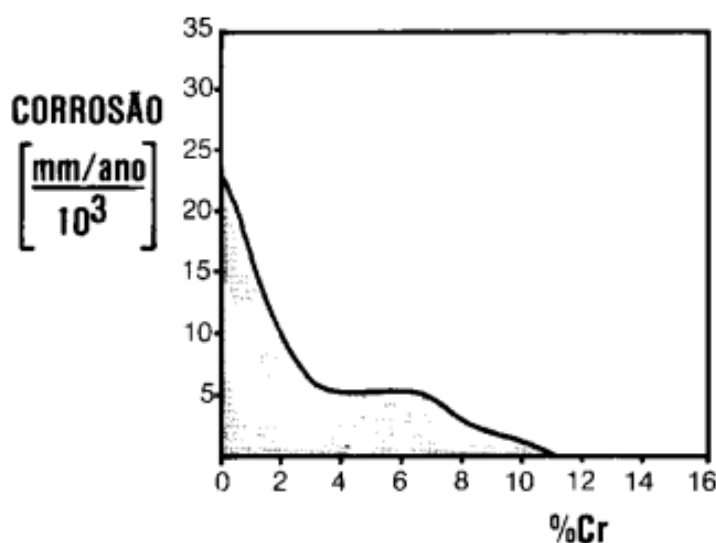
2.4 Aço inoxidável

O aço inoxidável é o material de interesse desse trabalho, visto que ele é a matéria-prima empregada no processo produtivo para a fabricação das lâminas de barbear.

“Os aços inoxidáveis são altamente resistentes à corrosão (ferrugem) em uma variedade de ambientes, especialmente na atmosfera ambiente. Seu elemento de liga predominante é o cromo; uma concentração de cromo de pelo menos 11 % é necessária. A resistência à corrosão também pode ser melhorada por adições de níquel e molibdênio.”⁶, p 525.

A Figura 4 ilustra a importância da presença de no mínimo 11% de cromo, para assegurar que o aço inoxidável seja de fato resistente a corrosão atmosférica.

Figura 4 Efeito da presença de cromo na resistência à corrosão para ligas de ferro-cromo



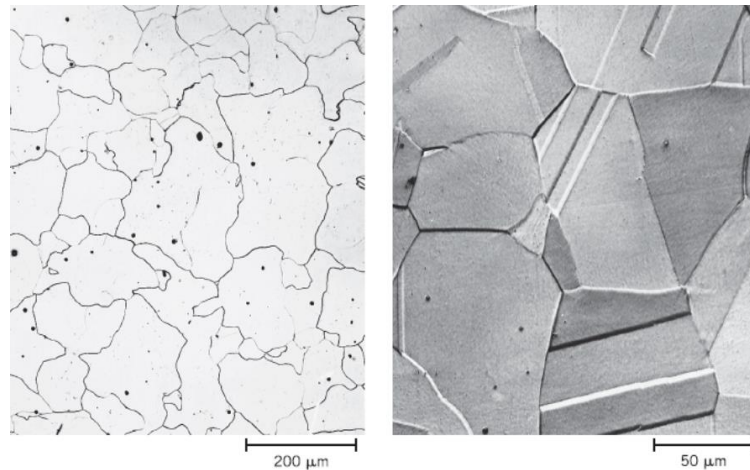
Fonte: Chiaverini, V (2023).

Dessa forma, o aço inoxidável é uma liga ferrosa de baixa quantidade de carbono, que contém pelo menos 11% de cromo na sua composição.³ A presença do cromo apresenta uma maior resistência a oxidação e corrosão do aço, sendo indispensável a sua presença.

Os aços inoxidáveis também são subdivididos em três classes, sendo usada a sua fase constituinte de microestrutura como base para tal classificação. Eles são subdivididos em martensítica, ferrítica (compostos pela fase ferrita α , de estrutura

cristalina cúbica de corpo centrado - CCC) ou austenítica (compostos pela fase austenita, de estrutura cristalina cúbica de face centrada - CFC) (Figura 5).⁶

Figura 5 Fotomicrografias da ferrita (a esquerda) e da austenita (a direita)



Fonte: Callister, William (2019)

Outro elemento considerado essencial na liga de ferro-cromo que compõe o aço inoxidável é o Níquel, o qual é um metal que amplia a zona de resistência a corrosão que essa liga possui. Essencialmente, é responsável por diminuir a velocidade de corrosão da liga de ferro-cromo e por fornecer ductibilidade, tenacidade e resistência a essa liga Cr-Ni-Fe.⁴

“Os aços inoxidáveis austeníticos são os mais resistentes à corrosão, devido a seus altos teores de cromo e também às adições de níquel; eles são produzidos em maiores quantidades.”⁶, p 526.

Na Tabela 2 é possível visualizar os diversos tipos de aços inoxidáveis, como por exemplo, aços ferríticos, austeníticos, martensíticos e até mesmo os endurecidos por precipitação. Além disso, é possível observar algumas propriedades mecânicas (limite de resistência à tração, de escoamento e a ductilidade de cada material). Também é possível observar as aplicações mais comuns para cada material.

Tabela 2 Propriedades mecânicas para cada tipo de aço inoxidável e principais aplicações

Propriedades Mecânicas							
Número AISI	Número SNU	Composição (%p/p)	Condição	Limite de Resistência à Tração [Mpa (ksi)]	Limite de Escoamento [Mpa (ksi)]	Ductilidade [AL% em 50 mm (2 in)]	Aplicações Típicas
Ferríticos							
409	S40900	0,08C; 11,0 CR; 1,0 Mn; 0,50 Ni; 0,75 Ti	Recozido	380 (55)	205 (30)	20	Componentes de exaustão automotivos, tanques para pulverizadores agrícolas
446	S44600	0,20 C; 0,25 Cr; 1,5 Mn	Recozido	515 (75)	275 (40)	20	Válvulas (para alta temperatura), moldes para vidro, câmaras de combustão
Austeníticos							
304	S30400	0,08 C; 19 Cr; 9 Ni; 2,0 Mn	Recozido	515 (75)	205 (30)	40	Equipamentos para processamentos químicos e de alimentos, vasos criogênicos
316L	S31603	0,03 C; 17 Cr; 12 Ni; 2,5 Mo; 2,0 Mn	Recozido	485 (70)	170 (25)	40	Construções com soldas
Martensíticos							
410	S41000	0,15 C; 12,5 Cr; 1,0 Mn	Recozido T&R	485 (70)	275 (40)	20	Canos de rifles, cutelaria, peças de motores de jatos
				825 (120)	620 (90)	12	
440A	S44002	0,70 C; 17 Cr; 0,75 Mo; 1,0 Mn	Recozido T&R	725 (105)	415 (60)	20	Cutelaria, mancais, instrumentos cirúrgicos
				1790 (260)	1650 (240)	5	
Endurecível por Precipitação							
17-4PH	S17400	0,07 C; 16,25 Cr; 4 Ni; 4 Cu; 0,3 (Nb + Ta); 1,0 Mn; 1,0 Si	Endurecido por precipitação	1310 (190)	1172 (170)	10	Equipamentos químicos, petroquímicos e para o processamento de alimentos, peças aeroespaciais

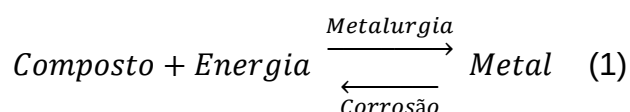
Fonte: Callister, William (2019)

2.5 Corrosão

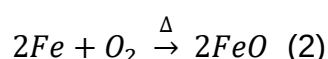
Usualmente, pode-se definir a corrosão como uma ação química ou eletroquímica na atuação para deterioração de um material, geralmente metálico. Tal desgaste, é causado pelas interações físico-químicas que o material está realizando com o ambiente no qual está inserido.⁵

"O fenômeno de corrosão pode ser definido como a deterioração de um metal devido à ação do meio ambiente, o que faz com que esse metal perca sua massa e/ou suas qualidades mecânicas essenciais, tornando-se inadequado para o uso prático. Do ponto de vista físico-químico, a corrosão é o processo espontâneo irreversível que ocorre através de uma reação de oxirredução" ^{14, p 11.}

A corrosão também pode ser definida como um processo espontâneo, onde o metal tende a passar para o estado de óxidos, o qual possui um estado de energia inferior e pode ser considerado como mais estável (Equação 1).⁵



Desta forma, a corrosão é caracterizada por uma reação de oxidação do metal, no qual será adicionado o oxigênio na sua composição (Equação 2).



Usualmente a forma de corrosão mais estudada em livros e artigos é a corrosão eletroquímica, na qual haverá: um catodo (local que ocorre a redução), um anodo (local onde ocorre a oxidação) e um eletrólito (uma solução líquida).⁶

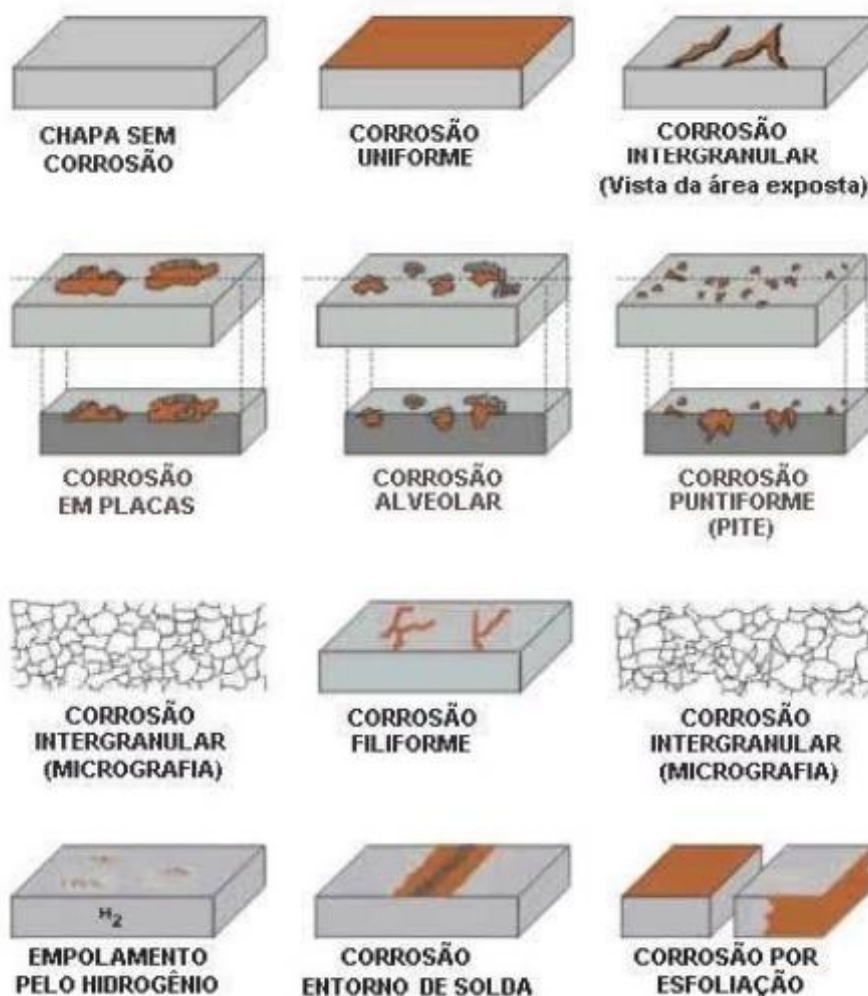
Porém, além da corrosão eletroquímica existe a corrosão atmosférica, a qual também é considerado um processo espontâneo, porém o mesmo ocorre quando há exposição em uma atmosfera. Tal exposição, igualmente causa uma reação química na superfície da liga metálica, originando a corrosão.⁷

2.6 A Tipos de corrosão

Após analisar a principal classificação de corrosão desse projeto (corrosão atmosférica), é necessário conhecer as maneiras de como essa corrosão pode-se apresentar na superfície da lâmina.

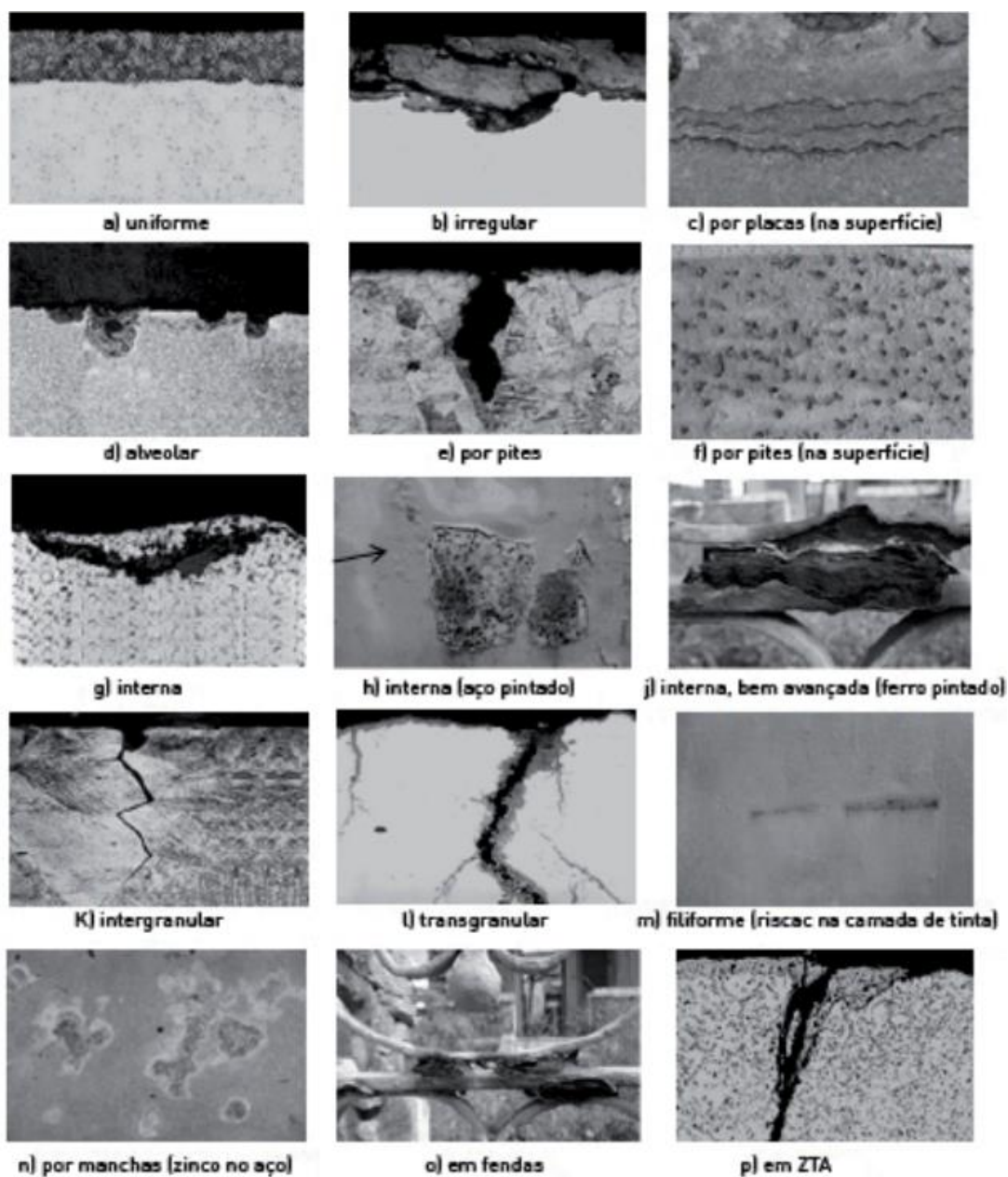
Sendo assim, ela pode se manifestar através de uma corrosão uniforme (ocorre o fenômeno em toda a superfície do material, com uma diminuição idêntica em toda a placa) ou até mesmo uma corrosão por placas (caracterizando-se por algumas regiões da placa possuindo a corrosão e possui uma certa profundidade). Outras formas são a corrosão alveolar e a puntiforme (produz cavidades que são caracterizadas por ter uma profundidade maior que o diâmetro de cada *pite* formando). Nas Figuras 6 e 7, é possível visualizar as diferentes formas de corrosão.

Figura 6 Ilustração das formas de corrosão em materiais



Fonte: Gentil, Vicente (2022)

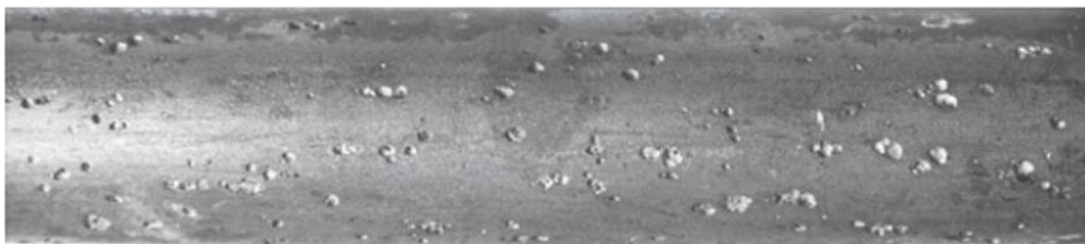
Figura 7 Imagens das principais formas de corrosão



Fonte: Matlakhova, A.K.; Matlakhova, L.A (2021)

Na Figura 8, é possível observar um exemplo da corrosão por “pite”, de um tubo de aço inoxidável.

Figura 8 Imagem de corrosão por pite, em um tubo de aço inoxidável



Fonte: Souza, J.M.; Andreazza, J.K. (2021)

2.7 Fatores que influenciam na corrosão das lâminas.

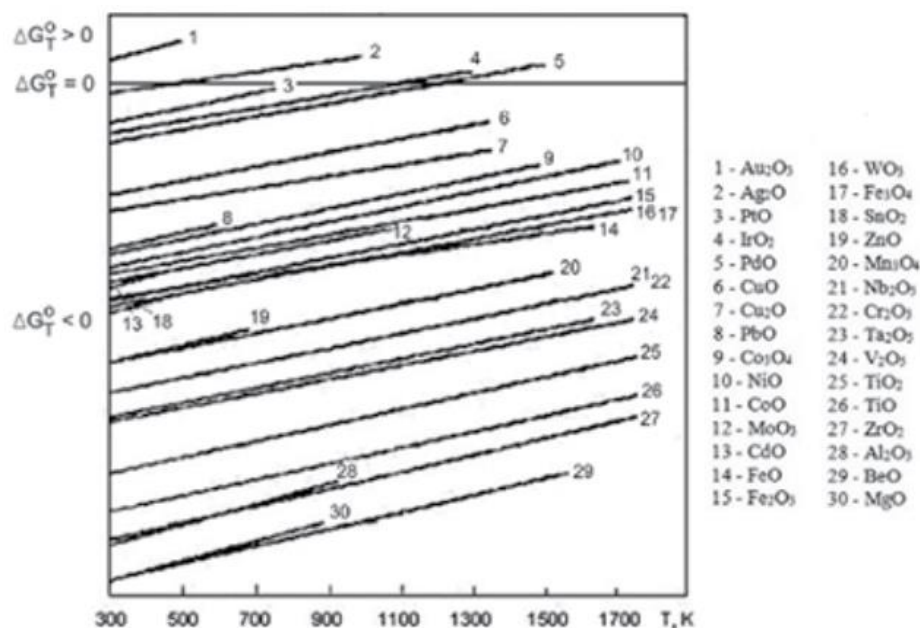
Além de conhecer os tipos de corrosão e as formas que ela se manifesta nos materiais, é de extrema importância conhecer os fatores que influenciam na corrosão das lâminas.

"Para tornar mais evidente a influência da temperatura na variação de energia livre de Gibbs padrão das reações de oxidação de diferentes metais, constrói-se o gráfico conhecido como o diagrama de Ellingham. De acordo com esse diagrama, à medida que aumenta a temperatura, todos os metais apresentam menor afinidade química ao oxigênio, ou seja, tornam-se mais resistentes à oxidação e vice-versa."

14, p 12.

Dessa forma, a temperatura é um fator crítico para um ambiente corrosivo, visto que altas temperaturas, provocam um aumento na velocidade das reações e da mobilidade iônica. Porém, em baixas temperaturas, há um aumento da condensação do vapor d'água da atmosfera nas lâminas, aumentando a velocidade da corrosão do material em questão. Por esse motivo, é essencial entender e escolher o ambiente com uma temperatura adequada para armazenamento das lâminas.⁸

Na Figura 9, é possível observar o diagrama de Ellingham, no qual mostra a estabilidade relativa de diferentes compostos em relação à oxidação a temperaturas elevadas. Esses diagramas são usados principalmente na metalurgia e na ciência dos materiais para entender como os metais e seus compostos reagem com o oxigênio ou outros agentes oxidantes em diferentes temperaturas.

Figura 9 Diagrama de Ellingham sobre oxidação de metais pelo oxigênio

Fonte: Matlakhova, A.K.; Matlakhova, L.A (2021)

Outro fator muito importante a ser considerado, como mencionado anteriormente, é a umidade. Sendo ela o fenômeno que se caracteriza por ter uma certa quantidade de vapor d'água em suspensão no ar. É um dos fatores críticos em um processo corrosivo, uma vez que essa água dispersa no ar, pode condensar na superfície da lâmina de aço inoxidável, formando uma película de água. Ou seja, essa é uma das condições críticas para iniciar o processo eletroquímico de corrosão. ⁸

"A umidade relativa da atmosfera influencia acentuadamente a corrosão atmosférica de metais, devido à condensação de vapor de água e à formação na superfície metálica de um condensado que se torna eletrolítico quando absorve oxigênio, poluentes gasosos e poluentes particulados formadores de ácidos." ¹⁴, p 14.

2.8 Proteção das lâminas contra corrosão

Para a proteção das lâminas de aço inoxidável, há algumas opções disponíveis no mercado, como a aplicação de revestimentos diretamente sobre a lâmina, ou até mesmo a utilização de envelopes de papéis desenvolvidos com características específicas para a proteção do material.

"O principal objetivo de uso de revestimentos protetores temporários é prevenir, por um curto período do tempo, a corrosão atmosférica de produtos metálicos durante o armazenamento, transporte, tratamento (usinagem), e, às vezes, em serviço quando a proteção permanente não é desejável por razões técnicas e econômicas. Os revestimentos temporários são aplicados na forma de uma camada pastosa ou semiflúida que deve ser contínua, aderente, de baixa permeabilidade à água, ao oxigênio e aos poluentes gasosos e de fácil remoção."¹⁴, p18.

Sendo assim, a aplicação de revestimentos temporários ou não na superfície da lâmina é uma opção viável para prevenir a corrosão. Na Tabela 3, é possível observar algumas opções de revestimentos oleosos na prevenção da corrosão.

Tabela 3 Opções de revestimentos oleosos para prevenção da corrosão

Anticorrosivos	Composição	Óleos minerais de diferentes viscosidades com aditivos inibidores de corrosão, podendo conter ceras, graxas, agentes tixotrópicos, lubrificantes, desaguantes, e outros
	Uso	Na proteção de peças acabadas ou semiacabadas de ligas ferrosas e não ferrosas (chapas, fitas, estampadas, forjadas, fundidas e outras). A proteção é válida para ambientes fechados ou embalagens
	Aplicação	Imersão, pincelamento, pulverização e outros, à temperatura ambiente
	Remoção	Desengraxante alcalino ou solvente
	Tempo de proteção	Variável, dependendo do produto e das condições de armazenamento. Pode variar entre 3 dias e 4 meses

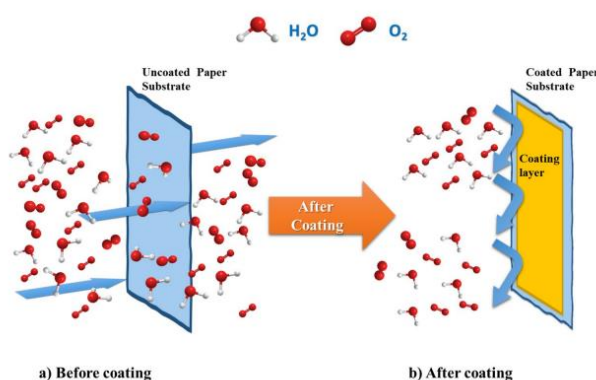
Fonte: Matlakhova, A.K.; Matlakhova, L.A (2021)

Como exposto anteriormente, o papel é uma ótima escolha como uma embalagem possível para ajudar na prevenção da corrosão das lâminas, visto que é capaz de fornecer uma ótima resistência, porém se caracteriza por ser um material muito poroso, ou seja, não tem uma proteção de barreira efetiva para embalagens. Tal porosidade é variável, dependendo do tipo de cada papel.

Para poder ser aplicado como uma embalagem para ser utilizada em lâminas de barbear, é necessário atentar-se a algumas características importantes. A Taxa de transmissão de vapor de água ou “water vapor transmission rate” (WVTR) é uma das principais e mais cruciais barreiras a ser analisadas em uma embalagem, podendo ser definida como a quantidade de vapor de água que é capaz de atravessar um certo material em um dado período.⁹

Em muitos casos, o papel por si só não é capaz de fornecer uma boa propriedade de barreira, sendo necessário a aplicação de recobrimentos (*coatings*) para melhorar essa propriedade.¹⁰

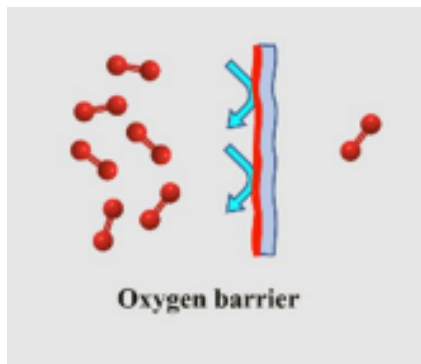
Figura 10 Esquema explicando a eficiência da aplicação do “coating” no papel



Fonte: Kunam, P.K.; Ramakanth, D.; Akhila, K. (2022)

Uma outra característica é a taxa de transmissão de oxigênio ou “oxygen transmission rate (OTR)”. É a taxa com qual uma quantidade de gás oxigênio é capaz de permear um certo material, em um dado tempo. É possível medir em diversos materiais, como plásticos rígidos ou flexíveis, e até mesmo em papéis. Pode ser considerado uma barreira importante a ser analisada, visto que, a passagem de oxigênio para a parte interior da embalagem, irá acelerar a oxidação do material.¹

Figura 11 Ilustração explicando a barreira à oxigênio



Fonte: Kunam, P.K.; Ramakanth, D.; Akhila,K. (2022)

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar diferentes tipos de papéis para embrulhar as lâminas de barbear de aço inoxidável, visando evitar ou prevenir a corrosão.

3.2 Objetivos Específicos

- Condicionar as lâminas de barbear e os papéis que são usados como embalagens.
- Realizar os testes de corrosão em uma câmara que tem controle de temperatura e umidade.
- Identificar qualitativamente qualquer sinal de corrosão que seja apresentado nas lâminas durante o experimento.
- Avaliar os diferentes tipos de papéis utilizados como embalagens das lâminas de barbear.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Materiais

Para a realização do experimento foram necessários materiais como esponjas e detergente neutro para efetuar a limpeza das lâminas dentro de um recipiente de plástico, para evitar sujeiras e resquícios na bancada do laboratório, juntamente com papel toalha para efetuar a secagem do material. Além disso, foi necessário recortar no tamanho desejado as 8 amostras a serem testadas.

4.2 Metodologia

Em um recipiente, diluiu-se 50ml de detergente neutro em 100ml de água, para obter uma solução que foi utilizada para limpar cada lâmina individualmente. Com o auxílio da luva ante corte e a esponja, foi possível realizar a limpeza das lâminas nas duas superfícies, a fim de obter um material limpo e sem impurezas, provenientes do processo produtivo.

Logo em seguida, utilizou-se papéis toalhas, para secar as lâminas, e remover o excesso de água proveniente da limpeza.

Posteriormente, foi necessário preparar as amostras de papéis, recortando cada amostra no tamanho específico para poder ser utilizado na embalagem da lâmina. Cada amostra foi devidamente identificada com um código.

O teste foi realizado com 4 tipos de papéis, e testou-se cada um deles com a aplicação do *coating* para a parte interna e externa, totalizando 8 “*legs*” de testes, 1R, 1V, 2R, 2V, 3R, 3V, 4R e 4V.

A marcação “R” refere-se ao papel com “*coating*” posicionado em contato com a lâmina. Enquanto, a marcação “V”, refere-se ao papel sendo testado com o “*coating*” posicionado para a parte externa do envelope. Na Figura 12, pode-se observar as fotos de cada material utilizado no teste.

Figura 12 Fotos dos papéis dobrados utilizados nos experimentos.





Fonte: A autora (2023)

Na Tabela 4, é possível observar algumas características técnicas dos papéis analisados, como a gramatura de cada amostra (g/m^2), os valores do “COBB Teste” (método de teste usado para medir o peso de água absorvida pelo papel), a umidade do próprio material, a taxa de transmissão de vapor de água (WVTR) e a presença ou não do “Kit Oil” (uma barreira extra aplicada ao papel). Essas características serão úteis para explicação da *performance* posteriormente.

Tabela 4 Propriedades físicas dos papéis testados

Amostra	Gramatura (g/m^2)	Cobb Teste (g/m^2)	Umidade (%)	WVTR (g água/ m^2 .dia)	Kit Oil
1	35	≤ 5	4,00 – 8,00	≤ 20	-
2	40	≥ 35	4,00 – 7,00	-	-
3	45	≤ 5	4,00 – 8,00	≤ 20	≥ 11
4	66	≤ 1	5,00 – 7,00	30	12

Fonte: A autora (2023)

Após a preparação dos papéis e as lâminas, foi necessário embalar uma a uma no seu devido papel, e posicioná-las dentro da caixinha original (Figura 13), considerando a mesma forma que é vendida ao consumidor.

Figura 13 Lâminas de aço inox dentro da embalagem



Fonte: A autora (2023)

Para cada tipo de papel testado, foram preparadas amostras em triplicata, a fim de obter-se dados confiáveis e o erro associado a elas.

Logo em seguida, uma câmara climática foi regulada nas condições necessárias do teste, com a temperatura de 38°C e umidade relativa de 80% (método exploratório baseado na norma *International Standard* IEC 60068-2-78 para realizar testes de produtos em condições de altas umidades)¹⁵ com a finalidade de simular um ambiente mais agressivo, e ao mesmo tempo acelerar os resultados do experimento. Após a estabilização do equipamento, introduziu-se as amostras.

Para definição dos experimentos utilizou-se 8 amostras de papéis e foi considerado a retiradas de 6 amostras durante o tempo total de 28 dias de experimento. Na qual, a cada retirada foi registrado imagens das amostras, e avaliou-se o nível de corrosão em cada uma através de uma escala de corrosão, a qual foi elaborada pela autora em relação as condições normais de qualidade da lâmina, que pode ser observada na Tabela 5.

Para ficar mais visual, na Figura 14 é possível observar algumas imagens referentes a cada escala de corrosão.

Tabela 5 Escala de corrosão elaborada pela autora

Tipo de corrosão	Nota
Sem corrosão	10
1 - 5 Pequenos Pontos	7,5
5 -10 Pontos	5
1 - 5 Grandes Pontos	2,5
1 - 2 ou mais superfícies de corrosão	0

Fonte: A autora (2023)

Figura 14 Imagem das lâminas considerando a escala de corrosão adotada.

Nota 0



Nota 2,5



Nota 5,0



Nota 7,5



Nota 10



Fonte: A autora (2023)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tempo total de execução do teste, foi possível realizar algumas análises sobre a *performance* de cada papel (na qual, performance pode ser definida como a não presença de corrosão nas lâminas).

Nas próximas páginas, nas Tabelas 6 a 19 podem ser observados os resultados coletados, para cada amostra (1R, 1V, 2R, 2V, 3R, 3V, 4R e 4V) após o término do teste considerando a escala de corrosão definida na Tabela 6.

Posteriormente, para melhor entendimento, organizou-se os resultados, calculou-se a média de cada “*pull out*” das amostras, as quais foram realizadas em triplicata e desconsiderando as condições que tem resultado zero visando realizar o cálculo do desvio padrão das amostras. Posteriormente, calculou-se a média geral para as 8 “*legs*” do teste, a qual pode ser encontrada na Tabela 10.

Tabela 6 Resultado do teste para amostra 1R e 1V

Amostra	#amostra	Nota	Média	Amostra	#amostra	Nota	Média
1R1	A	10	3,3	1V1	A	0	0,8
	B	0			B	2,5	
	C	0			C	0	
1R2	D	0	5,8	1V2	D	0	0,0
	E	10			E	0	
	F	7,5			F	0	
1R3	G	0	0,0	1V3	G	0	0,8
	H	2,5			H	0	
	I	0			I	2,5	
1R4	J	0	3,3	1V4	J	0	0,0
	K	5			K	0	
	L	5			L	0	
1R5	M	7,5	2,5	1V5	M	0	3,3
	N	0			N	5	
	O	0			O	5	
1R6	P	10	6,7	1V6	P	2,5	3,3
	Q	2,5			Q	7,5	
	R	7,5			R	0	

Fonte: A autora (2023)

Tabela 7 Resultado do teste para amostra 2R e 2V

Amostra	#amostra	Nota	Média	Amostra	#amostra	Nota	Média
2R1	A	10	4,2	2V1	A	10	6,7
	B	2,5			B	0	
	C	0			C	10	
2R2	D	10	10,0	2V2	D	10	6,7
	E	10			E	10	
	F	10			F	0	
2R3	G	10	10,0	2V3	G	10	7,5
	H	7,5			H	2,5	
	I	7,5			I	10	
2R4	J	5	8,3	2V4	J	5	4,2
	K	10			K	0	
	L	10			L	7,5	
2R5	M	10	7,5	2V5	M	7,5	5,8
	N	5			N	5	
	O	7,5			O	5	
2R6	P	5	5,8	2V6	P	7,5	5,0
	Q	5			Q	7,5	
	R	7,5			R	0	

Fonte: A autora (2023)

Tabela 8 Resultado do teste para amostra 3R e 3V

Amostra	#amostra	Nota	Média	Amostra	#amostra	Nota	Média
3R1	A	10	10,0	3V1	A	10	10,0
	B	10			B	10	
	C	10			C	10	
3R2	D	10	9,2	3V2	D	10	10,0
	E	7,5			E	10	
	F	10			F	10	
3R3	G	10	10,0	3V3	G	5	8,3
	H	10			H	10	
	I	10			I	10	
3R4	J	10	10,0	3V4	J	7,5	9,2
	K	10			K	10	
	L	10			L	10	
3R5	M	10	10,0	3V5	M	7,5	9,2
	N	10			N	10	
	O	10			O	10	
3R6	P	10	10,0	3V6	P	10	9,2
	Q	10			Q	10	
	R	10			R	7,5	

Fonte: A autora (2023)

Tabela 9 Resultado do teste para amostra 4R e 4V

Amostra	#amostra	Nota	Média	Amostra	#amostra	Nota	Média
4R1	A	10	10,0	4V1	A	10	10,0
	B	10			B	10	
	C	10			C	10	
4R2	D	10	10,0	4V2	D	10	10,0
	E	10			E	10	
	F	10			F	10	
4R3	G	10	10,0	4V3	G	10	10,0
	H	10			H	10	
	I	10			I	10	
4R4	J	10	9,2	4V4	J	10	9,2
	K	7,5			K	7,5	
	L	10			L	10	
4R5	M	10	10,0	4V5	M	10	10,0
	N	10			N	10	
	O	10			O	10	
4R6	P	10	9,2	4V6	P	10	10,0
	Q	10			Q	10	
	R	7,5			R	10	

Fonte: A autora (2023)

Tabela 10 Médias e desvios padrões para cada amostra

Amostra	Média Geral
Papel 1R	4,32 ± 1,820
Papel 1V	2,05 ± 1,443
Papel 2R	7,63 ± 2,316
Papel 2V	5,98 ± 1,225
Papel 3R	9,87 ± 0,327
Papel 3V	9,32 ± 0,634
Papel 4R	9,73 ± 0,413
Papel 4V	9,87 ± 0,327

Fonte: A autora (2023)

Sendo assim, com os cálculos das médias gerais é possível observar que 2 papéis foram superiores em performance (papel 3 e papel 4), tanto ao serem testados com o “coating” para parte interna ou externa. E, ao analisar os desvios padrões, foram

os papéis que apresentaram menor desvio, ou seja, demonstraram uma maior constância de resultados durante os 28 dias de teste.

Portanto, ao estudar os dados, os resultados podem ser explicados pela alta gramatura que esses papéis possuem, principalmente o papel 4 (66 g/m²). A gramatura é muito importante, pois quanto maior o peso do material, maior a sua espessura, e, conseqüentemente maior será a resistência que o vapor de água necessita enfrentar para romper essa barreira e chegar até as lâminas, e iniciar a corrosão.

Além dessa característica, o “COBB teste” (método de teste usado para medir o peso de água absorvida pelo papel) desempenha um papel importante nos resultados. Ao analisar os valores de COBB para os papéis 3 e 4 pode-se perceber que são valores muito baixos, sendo menor ou igual que 5 e 1 g/m², respectivamente. Esses valores indicam que ambos os papéis têm uma baixa capacidade de absorção de água, ou seja, ele não estará tão úmido ao final do teste como outros papéis. Atrelado a isso, pode-se dizer que o *kit oil*, aplicado somente a esses 2 papéis, é uma barreira extra na prevenção da corrosão, visto que se forma uma película protetora capaz de isolar a água de entrar em contato com a lâmina, retardando o processo.¹³

Além disso, é de extrema importância pontuar que a estufa utilizada, não é 100% controlada em relação à temperatura e umidade, visto que foi necessário abri-la para retirar as amostras ao longo do experimento. Portanto, essa perturbação faz com que o sistema tenha que se estabilizar novamente, podendo interferir de maneira negativa nos resultados obtidos.

5 CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi possível analisar a *performance* de alguns papéis na prevenção da corrosão de lâminas de barbea. A partir dessa motivação, foi necessário obter diversas amostras de papéis e desenhar o método de teste a ser executado.

Além disso, foi necessário obter informações de algumas propriedades de cada papel como: a gramatura, o valor do teste COBB, o WVTR, o *kit oil*. Sendo essas informações essenciais para justificar a *performance* de cada amostra.

Após realizar todas os 6 “*pull outs*” das 8 amostras, em triplicata, durante os 28 dias de testes, foi possível concluir que os papéis 3 e 4 foram os melhores na avaliação do teste. Porém, ainda há alternativas melhores, sendo elas o papel 3R e 4V.

Portanto, o teste realizado permitiu obter conhecimentos técnicos sobre os tipos de materiais que possuem uma compatibilidade com a lâmina utilizada, a fim de manter o material inteiro, podendo perceber a grande influência de altas gramaturas na prevenção da corrosão, bem como um baixo valor de COBB e a presença de *kit oil*.

Além disso, foi de extrema importância a sua realização, para possibilitar uma otimização dos processos industriais, uma vez que muitas dessas características necessitam ser conhecidas e testadas previamente, para providenciar um bom funcionamento do equipamento e da linha de produção contínua.

REFERÊNCIAS

1. BÔAS, E.V. **Timeline da barba: o estilo através dos últimos cem anos.** São Paulo: Jornal Estadão, 2016. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/emails/a-moda-deles/timeline-da-barba-o-estilo-atraves-dos-ultimos-cem-anos/>. Acesso em: 13 out. 2023.
2. BARBOSA, F.C. **Engenharia de Produção: alicerce da competitividade.** Goiás: Editora Conhecimento Livre, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/2021.edcl314>. Acesso em: 13 out. 2023.
3. TEBECHERANI, C.T.P. **Aços inoxidáveis.** São Paulo, 1999. Disponível em: http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/~adccg/lib/exe/fetch.php?media=artigo_para_pi_pesystem_sobre_inox1.pdf. Acesso em: 13 out. 2023.
4. CHIAVERINI, V. **Aços inoxidáveis – constituição, propriedades e tratamentos térmicos.** São Paulo. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/geologiaemetalurgia/Revistas/Edição%205/artigo5.3.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.
5. GENTIL, Vicente. **Corrosão.** Grupo GEN, 2022. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#!/books/9788521637998/>. Acesso em: 23 out. 2023.
6. CALLISTER, William D J. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Abordagem Integrada.** Grupo GEN, 2019. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#!/books/9788521636991/>. Acesso em: 23 out. 2023.
7. GUEDES, L.A.; LEITE, A.O.S.; ARAUJO, W.S. **Análise da influência de partículas sedimentáveis no processo corrosivo de metais.** Fortaleza: Encontros Universitários da UFC, 2016. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/eu/article/view/17359>. Acesso em: 23 out. 2023.

8. SOUZA, J.M.; ANDREAZZA, J.K. **Análise da corrosão atmosférica em ambiente urbano na cidade de Joinville.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/20286>. Acesso em: 24 out. 2023.
9. EUROLAB. **Testes de WVTR (Taxa de Transmissão de Vapor de água).** Disponível em: [https://www.eurolab.net/pt/testler/malzeme-testleri/wvtr-\(su-buhari-iletim-hizi\)-testleri/](https://www.eurolab.net/pt/testler/malzeme-testleri/wvtr-(su-buhari-iletim-hizi)-testleri/). Acesso em: 24 out. 2023.
10. KUNAM, P.K.; RAMAKANTH, D.; AKHILA,K, et al. **Bio-based materials for barrier coatings on paper packaging.** Biomass Conversion and Biorefinery. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03241-2>. Acesso em: 24 out. 2023.
11. ICPG. **Understanding OTR & MVTR specifications for barrier food packaging.** 2020. Disponível em: <https://blog.icpg.co/understanding-otr-mvtr-specifications-for-barrier-food-packaging>. Acesso em: 24 out. 2023.
12. International Organization for Standardization. **ISO 535: Paper and board - determination of water absorptiveness - Cobb method.** 2014. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:535:ed-3:v1:en>. Acesso em: 14 nov. 2023.
13. VIEIRA, M.R.S.; VIEIRA, A.A.S.; STEFENONI, L.C.; et al. **Processo de corrosão do aço API5LX60 exposto a óleo cru e águas salinas.** 2012. Disponível em: https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2012/INTERCORR2012_284.pdf. Acesso em: 14 nov. 2023.
14. MATLAKHOV, A.K.; MATLAKHOVA, L.A. **Corrosão e proteção dos materiais.** Jundiaí. 2021. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 16 nov.2023.

15. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60068-2-78:2012**: Environmental testing – part 2-78: Tests- Test cab: damp heat, steady state.2012. p.5.