

Análise comparativa das propriedades de cisalhamento, corrosão e permeabilidade magnética entre os aços AISI 201 E AISI 304

Comparative analysis of shear, corrosion and magnetic permeability properties between AISI 201 AND AISI 304 steels

análisis comparativo de las propiedades de corte, corrosión y permeabilidad magnética entre los aceros AISI 201 Y AISI 304

Matheus dos Santos Sarmiento ¹

Emanuel Benedito de Melo ²

Bruno Fernando Gianelli ³

Resumo: Realização de ensaio corrosivo, de cisalhamento e permeabilidade magnética, apresentando características mecânicas, químicas e elétricas dos aços inoxidáveis AISI 201 e AISI 304, com finalidade principal de transparecer as propriedades e aplicabilidade dos materiais, de modo a compará-los em meios e aplicações similares. Assim dentro deste segmento, denotar as vantagens de utilização das ligas do subgrupo austenítico 200, o qual traz grande aplicabilidade dentro dos processos industriais, com impacto significativo na contenção de gastos fabris, denotando margens expressivas de aproximadamente 33% na redução de custos dentro do âmbito de utilização.

Palavras-chave: Corrosivo. Cisalhamento. Permeabilidade magnética. Análise comparativa. AISI 201. AISI 304.

Abstract: Carrying out corrosive, shear, and magnetic permeability tests, presenting the mechanical, chemical, and electrical characteristics of AISI 201 and AISI 304 stainless steels, with the main purpose of highlighting the properties and applicability of the materials, in order to compare them in similar environments and applications. Thus, within this segment, denote the advantages of using the austenitic subgroup 200 alloys, which brings great applicability within industrial processes, with a significant impact on manufacturing cost containment, denoting expressive margins of approximately 33% in cost reduction within the scope of use.

Keywords: Corrosion. Shearing. Comparative analysis. Magnetic permeability. Advantages. AISI 201. AISI 304.

Resumen: Realización de ensayos de corrosión, cizallamiento y permeabilidad magnética, presentando las características mecánicas, químicas y eléctricas de los aceros inoxidables AISI 201 y AISI 304, con el objetivo principal de evidenciar las propiedades y aplicaciones de estos materiales, permitiendo su comparación en medios y aplicaciones similares. Dentro de este contexto, se destacan las ventajas del uso de las aleaciones del subgrupo austenítico 200, que presentan una gran aplicabilidad en los procesos industriales, con un impacto significativo en la contención de costos de fabricación, destacando márgenes expresivos de aproximadamente un 33% de reducción de costos en el ámbito de su utilización.

Palabras clave: Corrosión. Cizallamiento. Permeabilidad magnética. Análisis comparativo. AISI 201. AISI 304.

Submetido 15/01/2025

Aceito 10/03/2025

Publicado 02/04/2025

¹ Engenheiro Mecânico. IFSP Campus Itapetininga. E-mail: m.sarmiento@outlook.com.br

² Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais. IFSP Campus Itapetininga. E-mail: ebm@ifsp.edu.br

³ Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais. IFSP Campus Itapetininga. E-mail: prof.gianelli@ifsp.edu.br.

Introdução

O emprego de ligas de baixo custo tornou-se atrativa ao mercado, devido ao alto custo do aço inoxidável, visto a grande aplicabilidade do aço AISI 304, foi elaborada uma análise quantitativa referenciando suas características mecânicas, químicas e elétricas, as quais serão empregadas em uma análise comparativa com a liga AISI 201, muitas das vezes utilizada de modo a substituir o emprego de ligas da série 300, as quais são ocasionalmente alocadas em processos por equívoco de projeto. A elevação de custo do processo produtivo também é passível de mal emprego de matéria prima, ocasionando perda monetária a empresa.

A aplicabilidade dos materiais acima condiz com o melhor entendimento das características e propriedades, as quais são de extrema importância na especificação de matéria prima e dimensionamento de elementos metálicos, para alocação correta nos processos produtivos. O estudo retratado neste artigo propõe a análise de ensaios de cisalhamento, corrosão e permeabilidade magnética com o intuito de melhor alocar os materiais em seus respectivos processos. Sabendo que o aço AISI 201 tem um menor teor de níquel (Ni) e cromo (Cr) em sua composição cerca de 2% a menos de Cr e aproximadamente 4,5% de Ni, o que propicia uma redução no seu custo de mercado devido ao menor teor empregado em sua composição, porém-se faz menos resistente a corrosão em relação ao AISI 304, o qual é empregado em sua maioria para áreas corrosivas, tais como plataformas marítimas e meios químicos.

Portanto o objetivo deste artigo é transparecer as características e aplicabilidade dos materiais acima, de modo a compará-los em meios de aplicação similares, denotando seus aspectos e viabilidade de emprego para determinados ambientes e processos, mantendo a relação custo-benefício como fator primordial na adequação de matéria-prima, usufruindo de maneira inteligente das propriedades dos materiais.

Materiais e Métodos

Os aços a serem estudados nesse artigo são AISI 201 da série 200 e AISI 304 da série 300, ambos aços inoxidáveis austeníticos, são classificados dessa maneira pois compõem em sua estrutura base Fe-Cr-Ni. Os aços pertencentes ao subgrupo 300 atingem sua estrutura austenítica devido a adição elevada de níquel em sua composição, já as ligas da série 200 conseguem atingir a fase ferro gama (γ -Fe) através de um percentual de manganês e nitrogênio, embora tenha uma quantidade significativa de níquel corroborando com a obtenção da microestrutura austenítica.

As principais características mecânicas, químicas e elétricas desse aço é sua conformabilidade e ductilidade, trazendo uma baixa tensão de ruptura, sem a presença de trincas no material, acarretando uma boa resistência a tração e uma alta soldabilidade, sua capacidade anticorrosiva é o que os torna ideal para meios iônicos, além da baixa permeabilidade magnética gerando o mínimo de interferência em campos magnetizados ou eletromagnetizados. Visando a obtenção de resultados precisos foi feito a validação da composição química dos materiais como representado nas tabelas 1 e 2, através de um ensaio não destrutivo de PMI (*positive material identification*), o qual utilizou-se um espectrômetro de materiais da marca Elvax, modelo ProSpector 2, sendo um analisador portátil por fluorescência de raios-X conforme Figura 1 e 2.

Figura 1: Espectrômetro Elvax ProSpector 2



Fonte: www.omettoequipamentos.com.br

Figura 2: análise de matéria prima



Fonte: Próprio Autor

Tabela 1: Composição Química do aço AISI 201

Fonte	Carbono (C)	Cromo (Cr)	Ferro (Fe)	Magnésio (Mn)	Níquel (Ni)	Cobre (Cu)	Fósforo (P)	Silício (Si)	Enxofre (S)
Prospector 2	Nulo	13,60%	74,4%	10,40%	0,91%	0,59%	Nulo	Nulo	Nulo
MatWeb	≤ 0,15 %	16 - 18 %	67,51 - 75 %	5,5 - 73,5 %	3,5 - 5,5 %	≤ 0,25 %	≤ 0,060 %	≤ 1,0 %	≤ 0,030 %

Fonte: Adaptado de Matweb e certificado de inspeção de matéria prima J. Ometto (anexo 01).

Tabela 2: Composição Química do aço AISI 304

Fonte	Carbono (C)	Cromo (Cr)	Ferro (Fe)	Magnésio (Mn)	Níquel (Ni)	Cobre (Cu)	Fósforo (P)	Silício (Si)	Enxofre (S)
Prospector 2	Nulo	18,20%	72,20%	1,20%	8,10%	0,20%	Nulo	Nulo	Nulo
MatWeb	≤ 0,080 %	18 - 20 %	66,34 - 74 %	2.0 %	8,0 - 10,5 %	Nulo	≤ 0,045 %	≤ 1,0 %	≤ 0,030 %

Fonte: Adaptado de Matweb e certificado de inspeção de matéria prima J. Ometto (anexo 02).

Cisalhamento

Os ensaios de cisalhamento foram realizados em uma máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL 30000 ilustrada na Figura 5, o método de ensaio escolhido consiste na compressão de um punção contra uma matriz de diâmetro igual a 1" polegada e velocidade de avanço em 1,12 mm/min. Como o intuito de determinar as propriedades mecânicas de limite de resistência ao cisalhamento, proporcionalidade, módulo de elasticidade e limite de escoamento, foram realizados 4 ensaios para cada tipo de aço. As dimensões dos corpos de prova (Figura 3 e 4) foi determinada conforme a matriz presente na Figura 6, as dimensões do corpo de prova (CP) utilizadas foram de 50 x 50mm, com furo central de 16mm de diâmetro e espessura de 3 mm.

Figura 3 - corpo de prova cisalhamento.



Fonte: Próprio Autor

Figura 4 - corpo de prova no punção



Fonte: Próprio Autor

Figura 5 – Máquina universal de ensaios EMIC.



Fonte: Próprio Autor

Figura 6 – Matriz de cisalhamento.



Fonte: Próprio Autor

Corrosão

A corrosão ocorrente nesse meio acontece fundamentalmente pelo processo eletroquímico, dessa maneira utiliza-se uma técnica eletroquímica para avaliar a resistência a oxirredução. O corpo de prova utilizado é uma chapa de medidas 20x40x3mm para ambos os materiais, com faces polidas, como demonstrado na Figura 8, sendo 3 amostras para cada material.

O arranjo experimental é dado início com a preparação dos CP, passando por etapas tais como o polimento, utilizando várias granulaturas de lixa d'água até a referência de grão 2400, a fim de obter um acabamento condizente para análise corrosiva, além da execução de uma inspeção visual no microscópio, validando a ausência de riscos na superfície da amostra, que oportunamente ocasionaria a distorção e comprometimento da uniformidade da superfície, invalidando o ensaio de corrosão. A preparação do equipamento é feita conforme procedimento de operação da máquina, dando início com a limpeza dos recipientes de teste com água deionizada, já as amostras foram limpas com álcool etílico (70%), após a secagem das peças foram montados os conjuntos, onde é colocado uma chapa de cobre logo a baixo do corpo de prova de forma a fazer contato com a maior área possível, logo acima do CP é disposto um recipiente com uma abertura de 0,54cm² de forma a deixar essa área exposta a solução de NaCl a qual ira ocasionar o processo de corrosão, logo acima do CP fica o eletrodo de referência (ER) de prata (Ag/AgCl) que está junto ao eletrodo auxiliar de platina (Pt) submersos em uma solução de KCl 3mol/L, conforme Figura 7, demonstrando a montagem do conjunto.

Figura 7 – Conjunto do equipamento de corrosão.



Fonte: Próprio Autor

Figura 8 – CP de Corrosão.



Fonte: Próprio Autor

Após o conjunto ser colocado dentro da gaiola de Faraday pra assim ser isolada de quais quer ondas eletromagnéticas, foi utilizado o programa Versa Studio, para controle e monitoramento do ensaio, nos parâmetros de configuração foi escolhido a curva Tafel e logo em seguida foi informado o eletrodo de referência, que para o ensaio é o eletrodo de prata (Ag) submerso em KCl (sat'd) e voltagem de (0.197V), após foi informado a área de contato da peça sendo ela 0,54cm², orientando o software dando a possibilidade de seguir com os testes.

Permeabilidade magnética

A permeabilidade magnética relativa dos aços é dada de modo empírico, donde um circuito elétrico é desenvolvido com intuito de ocasionar uma excitação magnética em uma bobina com núcleo de ar. A indução magnética do material se dá através de um campo eletromagnético gerado pelo sistema, mediante um núcleo maciço de Ø igual a 9mm e comprimento de 85mm, onde cada amostra é inserida na bobina de 500 espiras vazadas.

Figura 9 – CP permeabilidade magnética



Fonte: Próprio Autor

Figura 10 – Equipamento de indução



Fonte: Próprio Autor

O sistema é alimentado com uma tensão de 12Vca, onde a corrente é regulada através de um banco de 10 resistores com $15\Omega/20W$ cada, conectados em paralelo, resultando em uma equivalência de $1,5\Omega$ e uma potência dissipada de 96W, o sistema é monitorado através de sensores de efeito Hall, que utilizam o princípio físico da diferença de potencial ocasionada pelo desvio de cargas elétricas em meio ao material condutor, ou semicondutor, gerando dipolo a presença de um campo magnético, essa flutuação é proporcional ao sinal convertido sendo utilizado para análise da corrente disposta no circuito e aferição da excitação magnética no núcleo da bobina. A corrente elétrica é monitorada através do modulo sensor ACS712 (5A), enquanto o campo magnético induzido, é mensurado pelo sensor de efeito Hall AH49E (1000G), posicionado próximo à superfície da amostra.

Figura 11 – Conjunto de aferição da curva de histerese magnética.



Fonte: Próprio Autor

Os resultados obtidos pelos sensores são processados em tempo real pelo osciloscópio da marca FNIRSI modelo 1014D, o qual recorre do modo XY a fim de projetar a curva de histerese obtida através do cruzamento de dados provindos de ambos os sensores, no eixo das abscissas (X) é possível validar o campo magnetizante H (A/m) sendo a força do campo magnético aplicado na amostra, o qual é proporcional a corrente do sistema e a excitação da bobina, quando $H=0$ não a campo presente para indução no material, No que lhe concerne o eixo das ordenadas (Y) representa a indução magnética B (T ou G) no elemento, a qual deve ser mensurada a fim de determinar o fluxo magnético aplicado, tornando possível a distinção dos aços através da análise visual e quantitativa das curvas de histerese magnética.

• **Resultados**

Os gráficos obtidos através do ensaio de cisalhamento para o AISI 201 e 304 estão representados de maneira a avaliar os quatro ensaios e o quanto o material sofreu de esforço ao longo do tempo do ensaio, conforme os Gráficos 1 e 2.

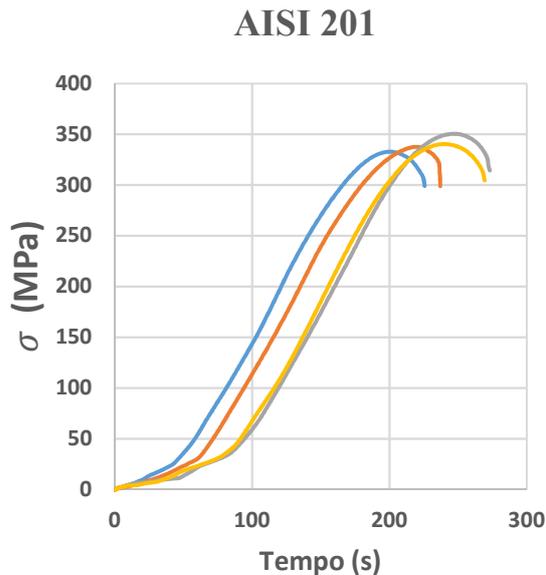


Gráfico 1 – Tensão x Tempo AISI 201

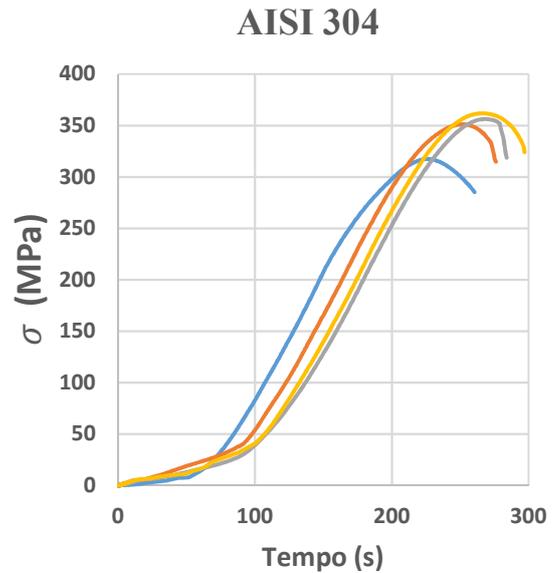


Gráfico 2 – Tensão x Tempo AISI 304

Para esses ensaios obtivemos a tensão de ruptura ao cisalhamento (T_c) e a partir delas, definir de tensão de ruptura média, conforme mostrado na Tabela 3

Tabela 3 – Tensão máxima de cisalhamento para AISI 201e 304

	AISI 201	AISI 304
Corpo de Prova	Tensão (MPa)	Tensão (MPa)
CP 1	332,93	317,52
CP 2	337,71	351,25
CP 3	350,56	356,34
CP 4	340,45	361,96
Média	340,4125	346,7675

Fonte: Próprio Autor

O modulo de elasticidade junto ao limite de proporcionalidade foram calculados a partir da inclinação das retas do regime elástico presentes nos Gráficos 1 e 2, onde a tensão é proporcional a deformação, definindo o limite de proporcionalidade onde a tensão não é mais proporcional a deformação. A proporção da resistência a tensão de tração foi calculada a partir

da tensão de cisalhamento. Os valores resultantes dos ensaios estão representados na Tabela 4 e 5 a seguir. A Figura 12 apresenta o corpo de prova após o ensaio.

Tabela 4 – Propriedades AISI 201

AISI 201				
Modulo de Elasticidade (E)	Limite de Escoamento	Limite de Proporcionalidade	Tensão de Cisalhamento (Tc)	Tensão Tração
125 GPa	322,5 MPa	286,25 MPa	340,41 MPa	453,88 MPa

Fonte: Próprio Autor

Tabela 5 – Propriedades AISI 304

AISI 304				
Modulo de Elasticidade (E)	Limite de Escoamento	Limite de Proporcionalidade	Tensão de Cisalhamento (Tc)	Tensão Tração
116,25 GPa	310 MPa	305 MPa	346,77 MPa	462,36 MPa

Fonte: Próprio Autor

Figura 12 – CP ensaiado cisalhamento.



Fonte: Próprio Autor

Os resultados obtidos no ensaio de corrosão foram transpassados através dos gráficos de Tafel onde pode-se observar a curva de polarização obtida a partir do potencial de corrosão dos materiais, conforme Gráficos 3 e 4.

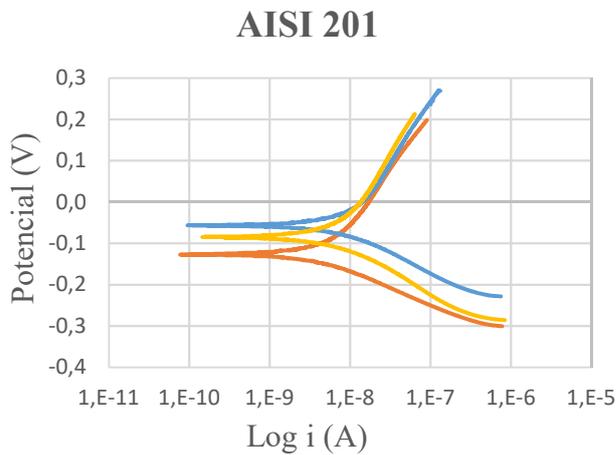


Gráfico 3 – Tensão x Tempo AISI 201

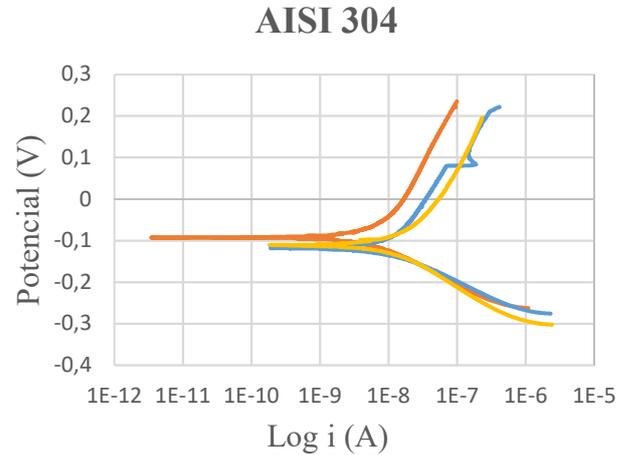


Gráfico 4 – Tensão x Tempo AISI 304

Os Gráficos 3 e 4 fornecem dados significativos para cálculo das taxas de degradação do material e velocidade de oxirredução conforme as Tabelas 6, 7 e 8 abaixo.

Tabela 6 – Propriedades químicas AISI 201

AISI 201	CP1	CP2	CP3
e	-0,1098 V	-0,08122V	-0,08382V
t	3000 s	3000 s	3000 s
i	1,1E-08 A	1,1E-08 A	9,4E-09 A
m	-4E-06 mg	-2,8E-06 g	-2,3E-06 g
Δm	-0,0037mg	-0,0028mg	-0,0024mg
S	0,54 cm ²	0,54 cm ²	0,54 cm ²
t	0,035 dia	0,035 dia	0,035 dia
ρ	7,81 g/cm ³	7,81 g/cm ³	7,81 g/cm ³
<i>m m</i> <i>/a no</i>	-0,091	-0,069	-0,059

Fonte: Próprio Autor

Tabela 7 – Propriedades químicas AISI 304

AISI 304	CP1	CP2	CP3
e	-0,0929 V	-0,1179V	-0,1121V
t	3000 s	3000 s	3000 s
i	9,3E-09 A	1,4E-08 A	2,1E-08 A
m	-2,6E-06 g	-4,8E-06 g	-7,2E-06 g
Δm	-0,0026mg	-0,0048mg	-0,0071mg
S	0,54 cm ²	0,54 cm ²	0,54 cm ²
t	0,035 dia	0,035 dia	0,035 dia
ρ	8,0 g/cm ³	8,0 g/cm ³	8,0 g/cm ³
<i>m m</i> <i>/a no</i>	-0,063	-0,117	-0,175

Fonte: Próprio Autor

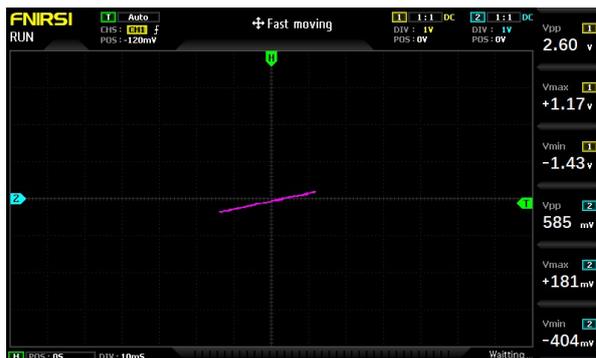
Tabela 8 – Comparativo corrosão mm/ano

Média	AISI 201	AISI 304
<i>m</i>	-2,9E-06 g	-4,9E-06 g
<i>m m/a no</i>	-0,0729 mm	-0,118 mm

Fonte: Próprio Autor

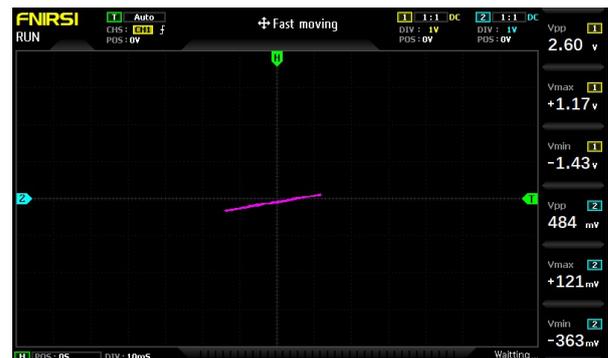
A dinâmica dos gráficos de histerese formados no osciloscópio evidencia a influência das condições experimentais, tais como ruídos e interferências externas não controladas, os resultados traduzem visualmente as transformações magnéticas do sistema.

Figura 13 – Curva de histerese AISI 201



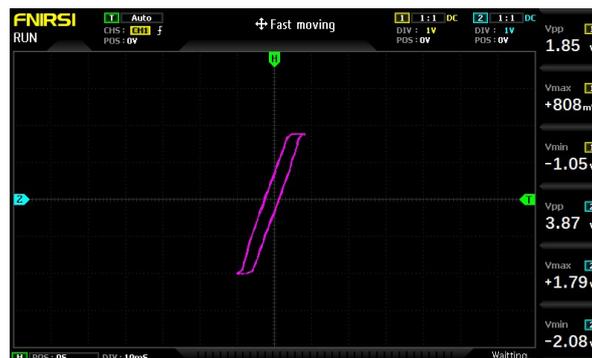
Fonte: Próprio Autor

Figura 14 – Curva de histerese AISI 304



Fonte: Próprio Autor

Figura 15 – Referência do SAE 1020 (Alta permeabilidade)



Fonte: Próprio Autor

Os gráficos acima direcionam a obtenção de métricas para a validação quantitativa dos resultados, referente a intensidade do campo magnético, o tratamento dos dados se faz necessário para obtenção do conjunto de características magnéticas de cada material, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Propriedades magnéticas dos aços

PARÂMETROS	SAE 1020	AISI 201	AISI 304
Corrente (A)	4,37	6,32	6,32
Campo Magnetizante H (A/m)	25691,57	37201,91	37201,91
Indução Magnética B (T)	0,0852	0,0086	0,0058
Permeabilidade Relativa μ_r (H/m . (H/m) ⁻¹)	2,6402	0,18	0,12
Permeabilidade Absoluta μ (H/m)	3,32*10 ⁻⁶	2,32*10 ⁻⁷	1,53*10 ⁻⁷
Relutância Magnética R_m (A/WB)	4,03*10 ⁸	5,77*10 ⁻⁹	8,63*10 ⁻⁹
Fluxo Magnético Φ (Wb)	5,42*10 ⁻⁶	5,48*10 ⁻⁷	3,67*10 ⁻⁷

Fonte: Próprio Autor

Os resultados extraídos das Figuras 13, 14 e 15, são correspondentes a representação visual e análise de dados coletados através dos sensores de efeito Hall, elaborados de modo experimental, validando as individualidades de cada aço e seus atributos magnéticos, permitindo categorizá-los magneticamente como muito ou pouco permeáveis.

Tabela 10 – Aspectos dos aços a indução magnética

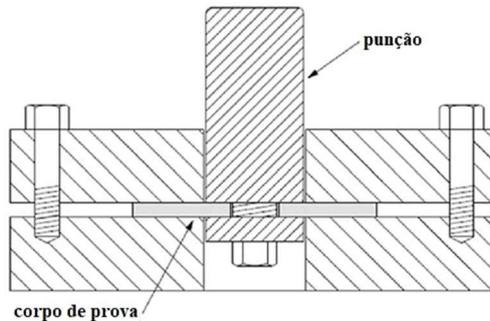
MATERIAIS	PERMEABILIDADE MAGNÉTICA	MAGNETIZAÇÃO RESIDUAL	HISTERESE
SAE 1020	Alta (facilmente magnetizável)	Sim (mantém magnetismo)	Maior (curva larga)
AISI 201	Baixa (leve resposta ao campo)	Não (quase sem retenção)	Pequena (linha fina)
AISI 304	Baixa (mínima resposta ao campo)	Não (praticamente sem retenção)	Pequena (linha fina)

Fundamentação teórica

• Ensaio de cisalhamento

O esforço de cisalhamento é resultante de esforços que tendem com que as partes do corpo deslizem uma em relação à outra perpendicular ao seu eixo longitudinal, no cisalhamento o material ensaiado sofre dos esforços ao mesmo tempo, tração e compressão como mostra a Figura 16, também é chamado de esforço cortante, o material em resposta ao esforço cortante, irá desenvolver uma reação chamada resistência ao cisalhamento. A resistência ao cisalhamento, poder determinada por meio da aplicação, também sendo possível relacionar com tensão determinada com ensaio de tração. O gráfico gerado é um gráfico de Tensão por deformação [3].

Figura 16 – Esquemática do ensaio de cisalhamento



Fonte: CARRANZA (2019, p. 11333))

Os esforços cisalhantes são encontrados em diversos meios um exemplo mais tradicional são parafusos e rebites, mas em relação a fabricação, são considerados em processos como dobramento, estampagem e corte, estando entre os principais processos. Os materiais a serem ensaiados, serão chapas de 1,5 e 3,0 mm, podemos observar na Figura 3.

Os elementos básicos de uma ferramenta de corte por cisalhamento são, punção, base da ferramenta, matriz e o corpo de prova. Para cisalhar a chapa é realizado a movimentação da punção contra a matriz, onde o material será pressionado até o limite máximo de resistência vindo a se romper. O cálculo para força cortante, pode ser visto a seguir na Equação 1, onde multiplica se a tensão de ruptura por cisalhamento pela área a cisalhar, F_C força de corte, t_C força ruptura, também pode ser conhecida como tensão de cisalhamento, A_C área ser cisalhada.

$$F_C = t_C \cdot A_C$$

Equação 1 – Força cisalhante

Área a ser cisalhada é dada por: L_C comprimento da aresta de corte, e_C espessura da chapa, A tensão de ruptura.

$$A_C = l_C \cdot e_C$$

Equação 2– Área cisalhada

- **Ensaio de Corrosão**

Embora um dos principais motivos para se utilizar o aço inoxidável seja sua alta resistência à corrosão, eles podem estar sujeitos a certos tipos de corrosão em determinados ambientes, por isso deve-se ter cuidado ao selecionar a liga mais adequada para cada tipo de

aplicação [5].

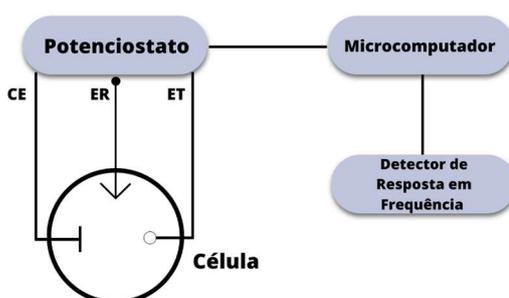
A corrosão se caracteriza pelo desgaste do material ao interagir com o ambiente, pode se manifestar de diferentes meios, porém no meio aquoso é onde mais se manifesta, cerca de 90% das corrosões ocorrem nesse meio, dado que o principal solvente é a água. As corrosões ocorrentes neste meio são fundamentalmente pelo processo eletroquímico, processo o qual envolve reações de oxirredução, onde há a transferência de elétrons de maneira espontânea entre os átomos [4].

Dessa maneira as técnicas eletroquímicas utilizadas no ensaio de corrosão podem ser utilizadas para avaliação de determinados materiais. Uma das técnicas é mergulhar a amostra em um meio aquoso e através de um eletrodo aplicar uma carga elétrica de corrente alternada com a intensidade de 5 a 20mV na solução, isso gera uma polarização que pode ser esboçada em forma de gráfico. Essa técnica é conhecida como método de impedância eletroquímica ou espectroscopia de impedância eletroquímica. Em outras palavras o método consiste em colocar a amostra do material entre dois eletrodos, aplicar um estímulo elétrico, um sinal alternado com pequena intensidade a um eletrodo inserido num eletrólito e medir a resposta resultante [4].

O potencial das impedâncias do sistema eletroquímico é coletado por um potenciostático, o instrumento responsável por aplicar o potencial e medir a corrente resultante do sistema, esse equipamento também pode trabalhar fazendo o papel inverso, controlando a corrente e medindo a diferença de potencial [4].

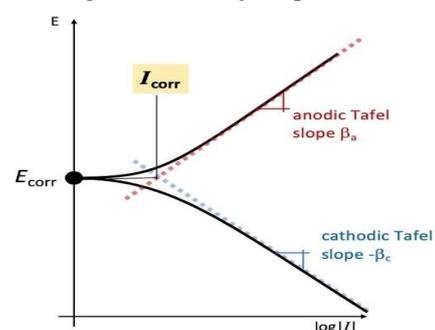
O arranjo experimental é como mostrado na Figura 17, onde a aplicação de corrente alternada à célula eletroquímica é feita através de um potenciostato com interface de impedancímetro. No modo potenciostático o computador fornece à célula um potencial alternado e a resposta do eletrodo é captada pelo detector [4].

Figura 17: Arranjo experimental



Fonte: adaptado de WOIYNEC

Figura 18: Arranjo experimental



Fonte: [7]

Na Figura 17 podemos ver saindo do potenciostato três elementos, se ligando a célula, sendo eles: CE, célula eletrolítica, ER eletrodo de referência e ET, eletrodo de trabalho. Através dos dados da diferença de potencial adquirida no ensaio, o potenciostato fornece dois parâmetros E_{cor} e $\log i$, potencial de corrosão e densidade de corrosão respectivamente, provindos das reações anódicas e catódicas. O método adotado para avaliação dos resultados e determinar a taxa de corrosão, é a extrapolação da reta de Tafel como demonstrado na Figura 18, o gráfico de E por $\log i$.

As taxas de corrosão expressam deterioração do metal. A correta avaliação dos índices de corrosão é, em geral, de grande importância para determinar a provável vida útil de equipamentos e instalações industriais. Os valores da taxa de corrosão podem ser expressos como redução da espessura do material por unidade de tempo, ou como perda de massa por unidade de área, por unidade de tempo [8].

A expressão formulada para o cálculo de corrosão pode ser descrita como a Δm perda de massa em relação ao período decorrido sobre a S área a qual se encontra em estado de deterioração pelo t tempo e que esteve sobre ataque iônico pela dependência da massa específica do material ρ , podendo ser expressa pela Equação 3.

$$m m/a no = \frac{3,65 \cdot \Delta m}{S \cdot t \cdot \rho}$$

Equação 3 – Oxirredução

Para se obter a massa desgastada m é necessário a obtenção de parâmetros tais como e sendo o equivalente eletroquímico do metal por i sendo a corrente de corrosão do sistema pelo tempo em que o material se encontra em meio corrosivo, tal expressão pode ser descrita conforme Equação 4.

$$m = e \cdot i \cdot t$$

Equação 4 – Velocidade de corrosão e degradação

- **Ensaio de Permeabilidade magnética**

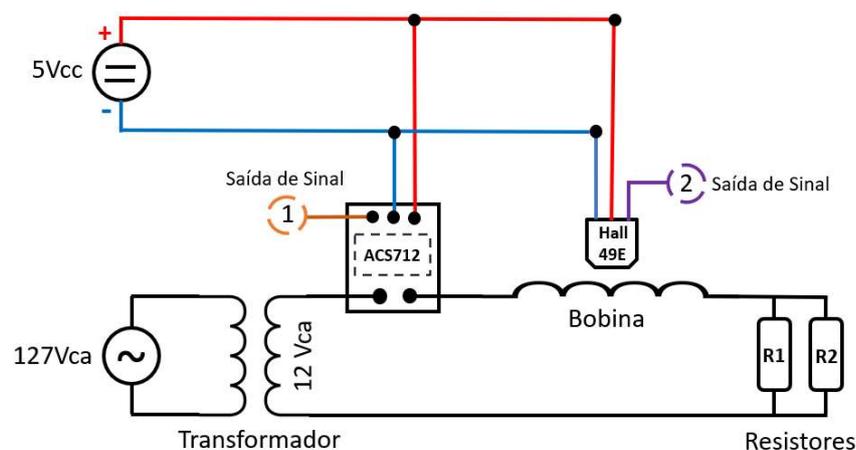
O ensaio magnético de permeabilidade permite a caracterização da capacidade de um material em conduzir e sofrer influência de um campo magnético, o estudo tem como base a

interação dos metais com a interferência oscilatória de um campo magnético, induzido de forma controlada em um sistema de medição.

O emprego correto dos elementos garante um funcionamento sem interposições de sinal ou variações geradas pelo domínio microestrutural da matéria, A permeabilidade magnética descreve a facilidade com que um material pode ser influenciado magneticamente por um campo externo, sendo os materiais com alta permeabilidade magnética mais suscetíveis a magnetização residual provinda de uma carga momentânea em sua estrutura, ocasionando o alinhamento dos domínios magnéticos, que mesmo após o cessar da indução eletromagnética adotam a posição do campo induzido, devido a características estruturais internas do material como tensões e defeitos no arranjo cristalino, criando regiões que restringem o movimento livre dos domínios, evitando o retorno a sua forma natural desordenada. A abordagem facilita na adequação de elementos industriais indispensáveis para garantir o pleno funcionamento de máquinas e equipamentos [13].

O presente ensaio tem como base a indução de um campo magnético artificial gerado através de uma bobina com núcleo de ar, oportunamente preenchido com um corpo de prova metálico, o qual irá gerar interferência no campo natural da bobina. A sensibilização das variações magnéticas serão captadas por sensores de efeito Hall e convertidas em sinais elétricos na escala de mV ou V (Volts), para que seja possível a realização dos testes é necessário um circuito de indução magnética conforme ilustrado abaixo.

Figura 19: Circuito experimental para indução magnética



Fonte: Próprio Autor

O esquema elétrico ilustrado na Figura 19 e apresentado na Figura 11, regula a entrada de tensão através de um transformador mantendo-o em 12 Vca provinda de uma ligação em rede com corrente alternada e tensão de 127Vca, em seguida é disposto em serie ao circuito um modulo de corrente AC denominado ACS712 fabricado pela *Allegro Micro Systems*, o qual monitora a corrente do sistema e direciona os dados coletados através do canal (1), logo a corrente é induzida na bobina de 500 espiras de núcleo de ar, gerando campo magnético suficiente para a detecção através do sensor AH49E fabricado por *BCD Semiconductor Manufacturing Limited*, instalado ligeiramente no término do enrolamento, o sensor de efeito Hall converte o sinal proveniente do campo magnético e o direciona através do canal (2), para manter um fluxo ativo e sem variações significativas é utilizado um banco de 10 resistores cerâmicos em paralelo de $15\Omega/20W$ gerando uma resistividade de $1,5\Omega$ e dissipação de 96W proveniente do circuito, operando abaixo da máxima capacidade de 20W por resistor, ficando apenas 9,6W de dissipação térmica por efeito Joule.

Figura 20: Bobina e corpos de prova



Fonte: Próprio Autor

A análise quantitativa formulada para descrever a permeabilidade magnética relativa dos materiais se faz pela adequação algébrica abaixo, utilizando-se de meios de conversão para a obtenção dos resultados necessários no preenchimento, sendo μ_r permeabilidade magnética, \mathbf{B} Indução magnética, μ_0 permeabilidade do vácuo e \mathbf{H} como o campo magnetizante.[14]

$$\mu r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Equação 5 – Permeabilidade relativa (μr)

Para alcançar resultados satisfatórios, é essencial seguir uma padronização de métodos de aferição, os resultados advindos da Tabela 9, provem de uma análise minuciosa da aferição dos sensores magnéticos de efeito Hall, para desenvolvimento dos cálculos é necessário à validação dos datasheets, donde está disposto a relação dos sinais, a fim de satisfazer as necessidades algébricas das contas.

A relação dos sensores na obtenção da curva de histerese é definida através da conversão de sinais elétricos na escala de mV ou V, o sensor responsável pela análise da corrente induzida no sistema ACS712, escala os resultados com base em uma curva característica do fabricante a qual é possível estimar a corrente do sistema em meio a indução no corpo de prova, os dados de sensibilidade magnética do sensor devem ser considerados para reduzir desvios e incertezas. Para o cálculo de corrente I é necessário a obtenção dos valores máximos de tensão do sistema de ambas as amostras V_{max} e a sensibilidade do sensor em mV/A, conforme Equação 6, valor adotado com base no fabricante valor de 185 mV/A.

$$I = \frac{V_{max}}{\text{sensibilidade ACS712}}$$

Equação 6 – corrente na bobina

Para cálculo do campo magnético H (A/m) denotado no eixo das abscissas, é necessário o número de espiras da bobina N , a corrente induzida I (A) e o comprimento da amostra l (m), conforme Equação 7.

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

Equação 7 – Campo magnético

Para compreender a formulação dos resultados do eixo das ordenadas é necessário consultar a sensibilidade ao campo magnético do sensor AH49E, denotada pelo fabricante, o qual dispõe taxas de compensação por criticidade nas aferições, com base nos parâmetros

admitidos a sensibilidade ideal para aferição do presente circuito é 2.1 mV/G, assim sendo possível o cálculo da indução magnética B (T)

$$B = \frac{Vmax}{sensibilidade AH49E} \times 10^{-4}$$

Equação 8 – Indução magnética

A permeabilidade absoluta μ (H/m) outrora a relativa, informa a capacidade real do material de infringir campo magnético após a magnetização, já a relativa tende a comparar com o vácuo representado pela sigla μ_0 valor o qual é $4\pi \times 10^{-7}$, bastando multiplicar pela Equação 5.

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

Equação 9 – Permeabilidade absoluta

A relutância elétrica R_m (A/Wb) por sua vez destacasse pela resistência inerente do aço em estabelecer um fluxo magnético, sendo inversamente proporcional a permeabilidade, fator de extrema importância na fabricação de motores, transformadores e blindagens magnéticas, podendo ser estimada através de aspectos físicos do material bem como razões magnéticas.

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$$

Equação 10 – Relutância magnética

O fluxo magnético Φ (Wb) determina o alinhamento do campo, representando a quantidade total de transposições lineares que transpassam uma superfície qualquer, valor o qual mensura a quantidade de material fluindo através do elemento ou de um sistema, sendo inversamente proporcional a relutância magnética. Podendo ser calculado através da Area (A) em m² e a indução magnética equação 8.

$$\Phi = B \cdot A$$

Equação 11 – Fluxo magnético

As equações descritas acima correspondem valores experimentais feitos sob condições e variáveis controladas, para aplicação em meio prático deve-se obter uma maior quantidade de

dados afim de melhor adequar as propriedades químicas e físicas do material, assim garantindo uma melhor adequação.

- **Custo-benefício**

A substituição de elementos como níquel por manganês na composição base do AISI 201, promove uma significativa redução nos custos de produção, com uma menor dependência de compósitos de alto valor (Cr - Ni) e um processamento aprimorado, sendo possível a otimização econômica de projetos, viabilizando a elaboração estratégica, que tenha como enfoque a eficiência e competitividade no segmento de implementação.

Tabela 11 – Orçamento de matéria-prima (04/24)

DESCRIÇÃO	PESO/KG	VALOR/KG	DISPARIDADE	%
Chapa AISI 201 - 2000 x 1220 x 2,00 MM 2B	40	R\$ 16,67	R\$ 10,13	37,8%
Chapa AISI 304 - 3000 x 1220 x 2,00 MM 2B	60	R\$ 26,80		
Chapa AISI 201 - 2000 x 1250 x 3,00 MM BQ	60	R\$ 17,76	R\$ 6,74	27,5%
Chapa AISI 304 - 3000 x 1250 x 3,00 MM BQ	90	R\$ 24,50		

Conclusão

Os dados coletados em laboratório demonstram que as características dos aços em questão, são similares nos aspectos ensaiados, possibilitando o emprego do AISI 201, em ambientes de operação que exigem resistência a corrosão e esforços mecânicos, sem que ocorra uma deterioração elevada do material, além de utilizações que necessita de baixa ou quase nenhuma interferência eletromagnética, tornando-o um ótimo substituto para a liga da série 300.

No ensaio de corrosão exibido nos Gráficos 3 e 4, os dois aços apresentaram correlação em seus resultados diferenciando-os em pequenas propriedades, o AISI 201 denotou melhor taxa de resistência a corrosão nos testes executados em laboratório. O ensaio de cisalhamento também evidenciou uma leve diferença entre as propriedades mecânicas. Já o ensaio de permeabilidade magnética é possível observar que a disparidade entre os aços é insignificante pois ambos não exercem alterações significativas no campo magnético devido à baixa permeabilidade. Os resultados demonstraram em sua maioria que os aços AISI 201 e AISI 304 apresentaram desempenho congruente. Este fator comparativo foi definido com base em um

número limitado de amostras.

O AISI 201 devido ao seu baixo custo de mercado em relação ao AISI 304, cerca ~33% do valor, tornasse um ótimo investimento para aplicações industriais, visando a redução de custo e o dimensionamento correto de máquinas e equipamentos, sem gerar gastos excessivos e garantindo a qualidade do produto, tal redução de custo é possível devido à baixa concentração de níquel e cromo em sua composição, elementos principais na fabricação do AISI 304, porém com um alto custo de mercado.

O AISI 304 ainda é a melhor opção quando se trata de ambientes alimentícios e altamente corrosivos, devido a sua composição química a qual apresenta maior porcentagem de agente passivador tais como o cromo e níquel, sendo amplamente difundida sua aplicação nos setores mais diversos da indústria, bem como sua utilização com amparo por norma.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6892**: Materiais metálicos – ensaios de tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro. 2002.

[1]. GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; DOS SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaios dos materiais**. Livros Técnicos e científicos, 2000.

[2]. CARRANZA, I. et al. Characterising and modelling the mechanical behaviour of polymeric foams under complex loading. **Journal of Materials Science**, v. 54, n. 16, p. 11328–11344, ago. 2019.

[3] DE SOUZA, Sergio Augusto. **Ensaios mecânicos de materiais metálicos**: Fundamentos teóricos e práticos. Editora Blucher, 1982.

[4] WOLYNEC, Stephan. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. Vol. 49. São Paulo: Edusp, 2003.

[5] TRIDAPALLI, Claudia Wagenführ et al. **Estudo comparativo de metodologias de ensaios acelerados de corrosão por frestas nas ligas de aço inox AISI 430 e AISI 304**. 2012.

[6] GEMELLI, Enori. **Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.

[7] Tafel extrapolation. EHT corrosion. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=jRTeSTN CUt8>>.

- [8] GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6.ed., Rio de Janeiro: LTC, 2012
- [9] NUNES, L.P. **Materiais: Aplicações de Engenharia, Seleção e Integridade**. São Paulo: Editora Interciência, 2012
- [10] MORAIS, Viviane Lima de. Estudo comparativo da deformação a frio e da resistência à corrosão nos aços inoxidáveis austeníticos AISI 201 e AISI 304. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- [11] Disponível em <
[https://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=stainless%20 steel%20201](https://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=stainless%20steel%20201) >.
- [12] Disponível em <
<https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da>>.
- [13] Nelson J. Batista. Caracterização Magnética de lâminas de aço silício e avaliação das perdas no ferro sob vários regimes de indução. **Revista Controle & Automação**. Vol.13, 2002 < <https://www.scielo.br/j/ca/a/Z85TsGmJhQH5xZLqkzRSPGh/>>.
- [14] Aldré Luíz Alves, Luan Souza, Pulo Moscon, Márcio Solino. Obtenção e análise de laços de histerese magnética: uma inserção de estudantes em pesquisas de magnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 45, e20230126, 2023.< <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0126>>.