

ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DIFERENTES PARAFUSOS AUTOMOTIVOS CLASSE 10.9

Thiago Pedrosa do Nascimento ⁽¹⁾ (thiago.pedrosa182@gmail.com), Michaela Socorro Bruce Fialho ⁽¹⁾ (michaela.socorro@gmail.com), Paulo Fernando Figueiredo Maciel ⁽¹⁾ (paulo.figueiredo@ifam.edu.br), Cristóvão Américo Ferreira de Castro ⁽¹⁾ (cristovao.castro@ifam.edu.br), Lays Furtado de Medeiros Souza Kataoka ⁽²⁾ (lays.furtado94@gmail.com)

⁽¹⁾ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM); Departamento de Processos Industriais

⁽²⁾ Universidade de Brasília (UnB); Departamento de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas

RESUMO: *Parafusos são fundamentais na indústria metal-mecânica devido à sua ampla utilização e diversidade de fornecedores. O controle de qualidade é essencial para garantir que suas propriedades mecânicas estejam em conformidade com as normas estabelecidas. Dessa forma, este estudo teve como objetivo comparar parafusos genéricos obtidos aleatoriamente com parafusos normatizados, de acordo com padrões de segurança de qualidade. A metodologia incluiu ensaios de tração, dureza, análises microestruturais e elementares de Carbono-Enxofre. Os resultados mostraram que os parafusos normatizados mostraram uma resistência à tração de $1137,39 \pm 18,2$ MPa, ligeiramente inferior aos $1164,00 \pm 32,42$ MPa dos genéricos, porém com maior alongamento (14% contra 10%). Ambos apresentaram dureza Rockwell adequada, indicando tratamento térmico de tempera e revenimento, confirmado pela microestrutura analisada. A análise elementar de Carbono-Enxofre revelou conformidade com as especificações. Apesar de mais econômicos, os parafusos genéricos demonstraram propriedades mecânicas comparáveis aos normatizados, sugerindo que podem ser uma opção viável dependendo do contexto de aplicação industrial.*

PALAVRAS-CHAVE: PARAFUSOS, CLASSES DE PARAFUSOS, PROPRIEDADES MECÂNICAS.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT AUTOMOTIVE BOLTS, CLASS 10.9

ABSTRACT: *Bolts are essential in the metalworking industry due to their wide use and variety of suppliers. Quality control is crucial to ensure their mechanical properties comply with established standards. This study aimed to compare randomly obtained generic bolts with standardized bolts according to quality safety standards. The methodology included tensile tests, hardness tests, microstructural analysis, and elemental Carbon-Sulfur analysis. The results showed that the standardized screws had a tensile strength of 1137.39 ± 18.2 MPa, slightly lower than the 1164.00 ± 32.42 MPa of the generic ones, but with greater elongation (14% versus 10%). Both types showed adequate Rockwell hardness, indicating proper heat treatment, such as quenching and tempering, as confirmed by the microstructural analysis. The elemental Carbon-Sulfur analysis revealed compliance with specifications. Although more economical, the generic screws demonstrated mechanical properties comparable to the standardized ones, suggesting they may be a viable option depending on the industrial application context.*

KEYWORDS: BOLTS, BOLT CLASSES, MECHANICAL PROPERTIES.

1. INTRODUÇÃO

Os parafusos são elementos de fixação essenciais em uma ampla gama de aplicações de engenharia, incluindo construção civil, projetos mecânicos, e eletrodomésticos. Inventados por volta de 400 a.C. por Arquitas de Tarento para uso em prensas de azeite e vinho, os parafusos têm evoluído significativamente desde então. No século XV, Johann Gutenberg já utilizava parafusos em suas impressoras, e no final do século XVII, eles se tornaram componentes comuns em armas de fogo (FATI, 2020). Com a Revolução Industrial, a utilização de conexões aparafusadas se tornou ainda mais prevalente em projetos mecânicos (NORD-LOCK, 2022).

A crescente demanda por parafusos exige uma análise criteriosa na sua escolha. Fabricantes precisam monitorar características cruciais como dureza, resistência à tração, integridade das roscas e tratamento térmico para garantir a certificação do produto final, o que também afeta seu custo (BERARDI, 2022). Parafusos da classe 10.9, por exemplo, são vitais para aplicações críticas de segurança devido à sua alta resistência e dureza. A necessidade de tratamento térmico rigoroso e controle de qualidade contribui para seu preço elevado.

No mercado, a diversidade de fornecedores, tanto nacionais quanto importados, pode dificultar a escolha de parafusos que atendam às normas de segurança. Grandes fabricantes de automóveis como Honda, Volkswagen e Ford priorizam a oferta de produtos de alta confiabilidade a preços razoáveis, com um controle de qualidade meticuloso para itens críticos. Esse controle garante a durabilidade e a conformidade com as normas, oferecendo aos consumidores segurança e qualidade ao adquirir veículos.

Entretanto, o usuário final pode optar por parafusos de segunda linha, mais baratos, para reduzir custos de manutenção, o que pode comprometer a segurança e o desempenho do veículo. Itens críticos para a segurança, como sistemas de freio e suspensão, e componentes de desempenho, como o motor, podem ter consequências graves se negligenciados. Portanto, surge a questão: qual é o nível de segurança e confiabilidade dos parafusos de segunda linha em comparação com os recomendados pelo fabricante?

Consumidores comuns frequentemente não exigem relatórios detalhados sobre as propriedades dos materiais e podem escolher produtos com base apenas no preço. No entanto, falhas em parafusos críticos podem resultar em problemas graves, desde vazamentos de fluidos até danos severos ao motor (THOMPSON, 2019). Assim, é essencial que os pesquisadores avaliem a qualidade de parafusos similares em comparação com os certificados pelo fabricante.

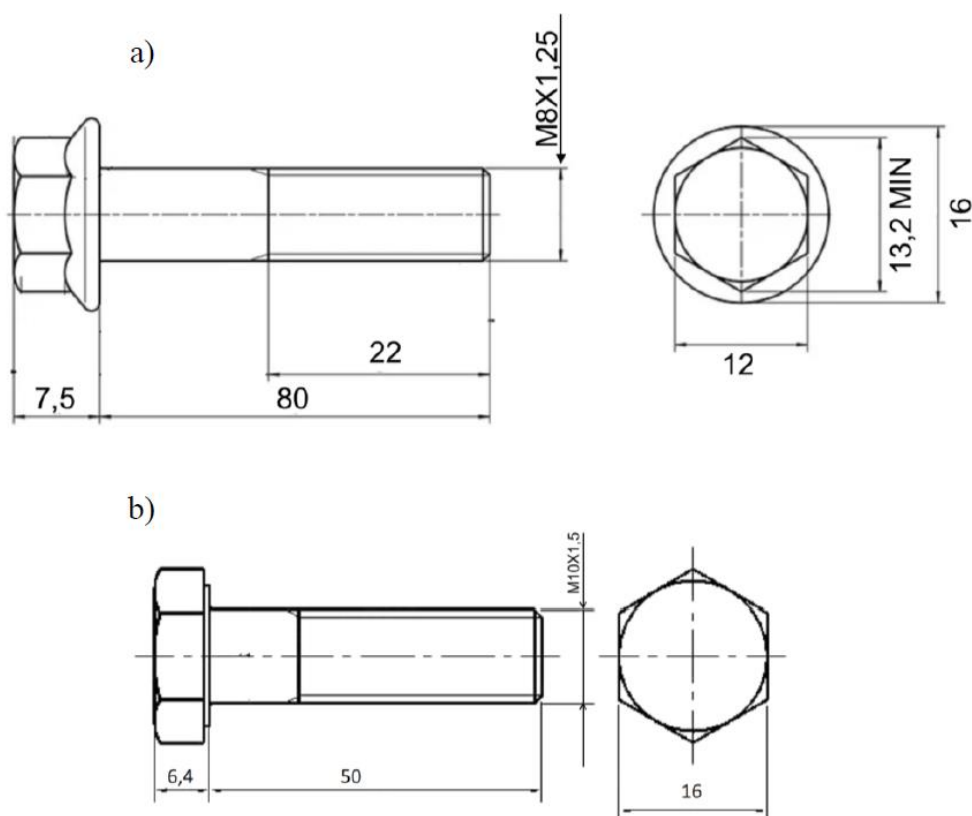
Este estudo visa comparar as propriedades mecânicas de parafusos da classe 10.9 utilizados na indústria automotiva, analisando dois grupos: um composto por parafusos recomendados e certificados pelo fabricante, e outro por parafusos adquiridos no mercado sem certificação. A

metodologia incluiu ensaios de tração para avaliar a resistência à tração máxima dos parafusos, ensaios de dureza Rockwell para determinar a dureza superficial e identificar possíveis tratamentos térmicos aplicados, além da análise elementar de carbono-enxofre. Esses testes foram realizados para garantir a conformidade com as especificações técnicas e avaliar as diferenças de desempenho entre os grupos de parafusos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os parafusos utilizados nesse estudo são da classe 10.9, adquiridos na concessionária da Honda classificado como o de recomendação do fabricante (normatizado), com comprimento de 80 mm, rosca M8x1,25, cabeça flange sextavada, e o material aço liga SAE 4135, apresentado na Figura 1 a), e o outro adquirido pela empresa “Vetoh parafusos” com comprimento de 50 mm, rosca M10x1,5, cabeça flange sextavada, e sem certificado de qualidade classificado neste estudo como genérico, e ilustrado na Figura 1 b).

FIGURA 1. Desenho técnico do parafuso a) Normatizado b) Genérico



Fonte: Autor (2022).

2.1 Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado conforme as recomendações da norma ISO 898 e ISO 6892-1, onde estas indicam que não há preparação específica do corpo de prova e sim apenas levando em consideração o dimensional do parafuso em dispositivos adaptados. Os testes foram executados a temperatura ambiente $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ na Máquina Universal de Testes de Tração da marca “Shimadzu”, modelo “UH 300kN IR”, a uma velocidade de 10 mm/min, acoplado em um dispositivo próprio para parafusos, como observado na Figura 2. Para cada grupo de parafuso classificado como normatizado e genérico, foram ensaiadas 5 diferentes amostras, e plotados os gráficos de “tensão x deformação”, identificando os seus limites de resistência à tração, limite de escoamento e o alongamento após a ruptura, conforme determinado na norma.

FIGURA 2. Dispositivo acoplado ao parafuso na máquina de tração.



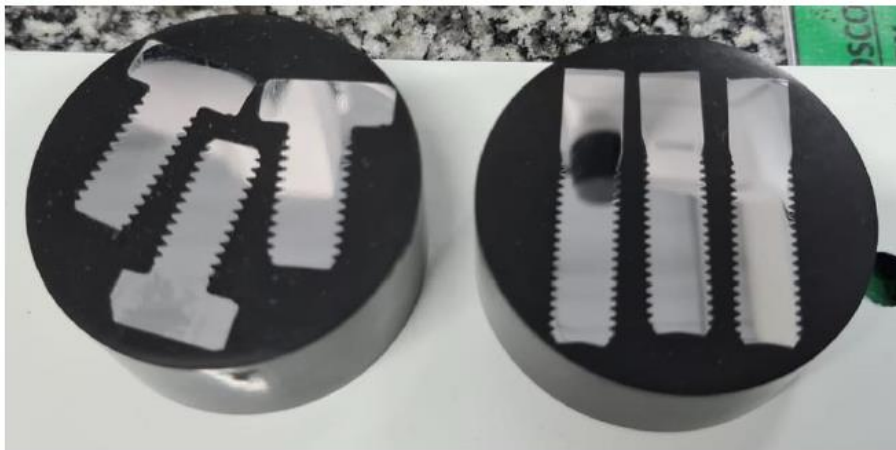
Fonte: Autor (2022).

2.2 Ensaio de Dureza

Para a realização do ensaio de dureza Rockwell (HRC), foram seguidas as recomendações da norma ISO 898 e a ISO 6508-2: Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell - Parte 2: Verificação e calibração de máquinas de ensaio e penetradores. Assim, para a realização das medições, 3 amostras de cada grupo classificados como genéricos e normatizados, foram embutidas à quente

com baquelite em uma prensa de embutimento da marca “Arotec” da seção longitudinal do corpo do parafuso, bem como realizado a metalografia (Figura 3). Inicialmente, as amostras foram lixadas em uma politriz da marca “Strues” utilizando-se as lixas de granulometria de 220, 320, 420, 600 e 1200 com água corrente, onde para cada troca de lixa, mudou-se o sentido da amostra a 90 graus. Posteriormente, para o polimento foi utilizado alumina em suspensão estabilizada da marca “Schneider” de 1 μ m, descrevendo um 8 em uma politriz da marca “Arotec” com o prato parado. E por fim, foi realizado o ataque químico com o ácido nital em solução 5% da marca “Êxodo científica” em aproximadamente 2,5 segundos. O equipamento utilizado foi da marca “Mitutoyo (Rockwell Hardness Testing Machine) - HR 400”, onde foram mensuradas 5 endentações e calculadas suas respectivas médias e desvio padrão.

FIGURA 3. Dispositivo acoplado ao parafuso na máquina de tração.



Fonte: Autor (2022).

2.3 Análise Microestrutural e teor de carbono

A análise microestrutural da seção longitudinal do parafuso foi observada em um microscópio ótico da marca “Olympus IX73P2F”. Para isso, as amostras de cada grupo (normatizado e genérico) foram preparadas por metalografia (embutimento, lixamento, polimento e ataque químico) conforme descrito anteriormente no item 2.2. E obtidas as imagens de sua microestrutura nas ampliações de x100 e x500.

Para a análise do %Carbono-Enxofre. O equipamento utilizado foi o analisador “LECO CS 744”. Inicialmente, as amostras foram pesadas em uma micro-balança em massas de aproximadamente 0,5g cada (a geometria das amostras não afeta na análise), o ensaio foi realizado em triplicatas com os parafusos genéricos e normatizados.

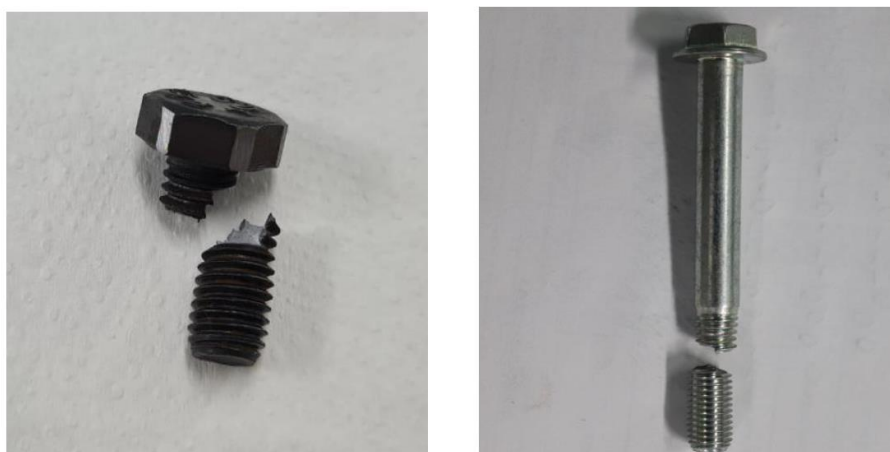
As amostras então são carregadas em um cadinho de cerâmica e inseridas em um forno de indução onde oxigênio de alta pureza é adicionado e a temperatura elevada a até 1800 °C e a combustão assim é processada. Carbono e Enxofre são oxidados em dióxido de Carbono (CO₂) e em dióxido de Enxofre (SO₂) onde ambos são detectados por células infravermelhas não dispersivas, que se baseiam no princípio que CO₂ e SO₂ absorvem a energia infravermelha em comprimentos de onda exclusivos.

3. RESULTADOS

3.1 Propriedades Mecânicas

O conhecimento sobre como o material se comporta a determinados tipos de forças são importantes para definir sua capacidade de resistir aos esforços que lhe são aplicados, até a fratura ou até as suas deformações permanentes (GARCIA, 2017). Para a caracterização das propriedades mecânicas dos parafusos genéricos e normatizados foram utilizados os ensaios de tração e dureza. No ensaio de tração foi aplicado uma carga de tração uniaxial dos parafusos até a sua ruptura, onde nota-se que os parafusos ensaiados fraturaram na região da rosca (Figura 4).

FIGURA 4. Parafusos fraturados após o ensaio de tração dos genéricos (à esquerda) e normatizados (à direita)



Fonte: Autor (2022).

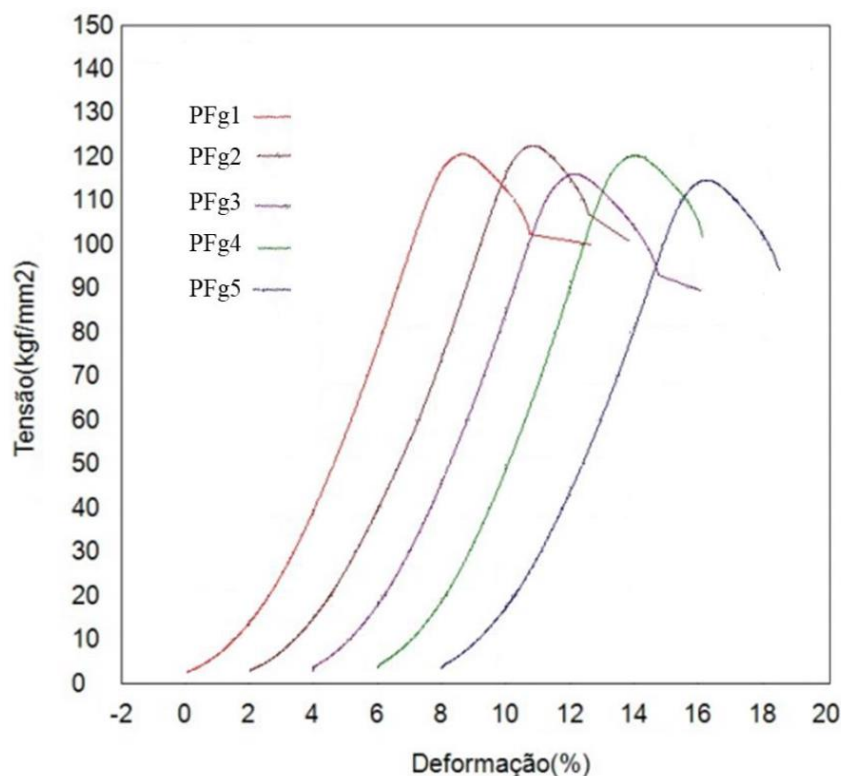
Foram obtidos as curvas “tensão (σ) x deformação (ϵ)” dos corpos de provas que estão ilustrados nas Figura 5 e 6. A partir dessas curvas foram extraídas as propriedades mecânicas de limite de resistência a tração (σ_u), limite de escoamento (σ_e) e alongamento (%) até a ruptura, onde os valores estão resumidos nas Tabelas 1 e 2.

O limite de resistência a tração (σ_u) dos materiais metálicos é definida como a máxima tensão que o material suporta antes de sua ruptura. Após esse nível máximo de tensão, o material começa o seu processo de fratura (SANTOS, 2015).

Os valores de σ_u dos parafusos genéricos apresentaram valores médios de 1164,00 MPa $\pm$ 32,42 e dos parafusos normatizados 1137,39 $\pm$ 18,2 MPa. Estes resultados encontrados estão de acordo com os valores mínimos estabelecidos pelo item 7 da norma ISO 898-1 para os parafusos de classe 10.9.

O limite de escoamento (σ_e) é definido como a tensão de início da deformação plástica do material, ou seja, deformação permanente (SANTOS, 2015). Como podemos observar nas Figuras 5 e 6, não é possível calcular a módulo de elasticidade pois não foi possível extrair os valores brutos da máquina devido a limitação do “software”. Dessa forma, o próprio software da máquina fornece os valores de tensão de escoamento a 0,2% de deformação automaticamente. Assim os valores de σ_e para os parafusos genéricos apresentaram valores médios de 1140,70 MPa $\pm$ 31,83 e os normatizados 1089,89 $\pm$ 24,1, conforme indicados nas Tabelas 1 e 2.

FIGURA 5. Gráficos tensão x deformação dos parafusos genéricos



Fonte: Autor (2022).

TABELA 1. Propriedades mecânicas de Tração parafuso genérico

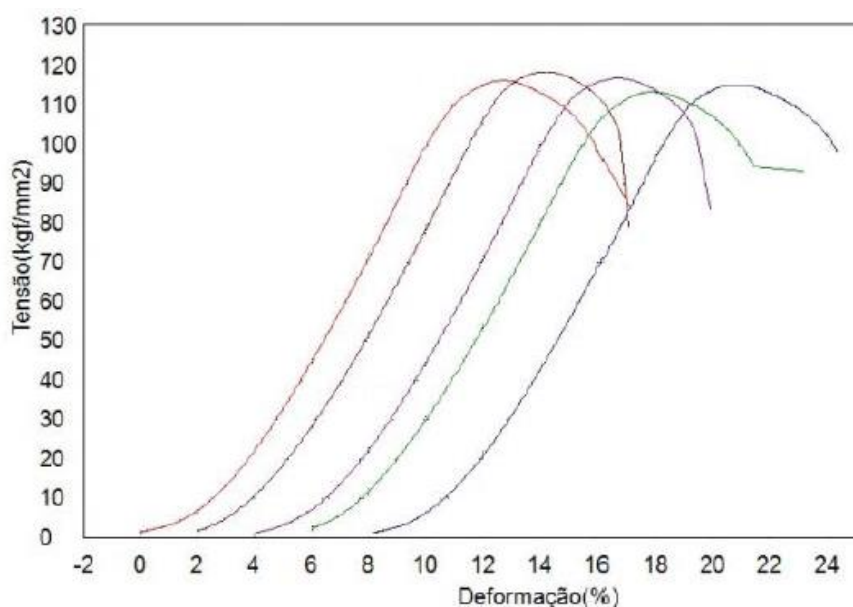
Item ensaiado	Especificado	PFg1	PFg2	PFg3	PFg4	PFg5	Média
Limite de Resistência (σ_u) (MPa)	Nom. 1000 Min. 1040	1181,17	1200,16	1136,92	1178,51	1123,27	1164,00 ± 32,42
Limite de Escoamento (σ_e) a 0,2% (MPa)	Nom. 900 Min. 940	1157,77	1179,08	1113,50	1150,57	1102,60	1140,70 ± 31,83
Alongamento %	Min 9	11	10,5	10	9,5	9,5	10,10 ± 0,65

PFg: Parafuso genérico.

Fonte: Autor (2022).

Da mesma maneira como os valores encontrados de limite de resistência a tração (σ_u), os resultados para o limite de escoamento (σ_e) também estão de acordo com os valores mínimos estabelecidos pelo item 7 da norma ISO 898-1 para os parafusos de classe 10.9.

FIGURA 6. Gráficos tensão x deformação dos parafusos normalizados



Fonte: Autor (2022).

O alongamento percentual (%) dos parafusos ensaiados correspondem ao acréscimo percentual do comprimento final do corpo de prova após o ensaio em relação ao seu comprimento inicial (SANTOS, 2015). Os alongamentos dos parafusos foram calculados de acordo com a Equação

(1), onde a variável L corresponde ao valor do comprimento final do parafuso depois o ensaio e Lo ao valor do comprimento inicial útil do parafuso. Todos os parafusos genéricos e normatizados também apresentaram os valores mínimos de alongamento (%) estabelecidos pelo item 7 da norma ISO 898-1 para os parafusos de classe 10.9.

$$\varepsilon = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100 (\%) \quad (1)$$

TABELA 2. Propriedades mecânicas de Tração parafuso normatizado

Item ensaiado	Especificado	PFn1	PFn2	PFn3	PFn4	PFn5	Média
Limite de Resistência (σ_u) (MPa)	Nom. 1000 Min. 1040	1140,92	1163,06	1112,30	1131,70	1138,96	1137,39 ± 18,2
Limite de Escoamento (σ_e) a 0,2% (MPa)	Nom. 900 Min. 940	1085,06	1124,24	1099,76	1058,89	1081,53	1089,89 ± 24,1
Alongamento %	Min 9	15	13	14	15	13	14 ± 1

PFn: Parafuso normatizado.

Fonte: Autor (2022).

Cabe ressaltar, que os tratamentos térmicos influenciam nas propriedades mecânicas do material, de modo que ao elevar a dureza do material tem como consequência direta a elevação dos níveis das tensões de escoamento e máxima (GARCIA, 2017). Os resultados de propriedades mecânicas apresentaram valores satisfatórios e próximos aos padronizados conforme estabelecidos pela norma ISO 898-1, de tratamento térmico de temperado e revenido. De modo geral, apesar dos parafusos genéricos não possuírem um controle de qualidade rigoroso quando comparados a grandes empresas automotivas, estes também podem ter um certo nível de segurança para o consumidor final.

As medições de dureza obtidas na escala HRC são apresentadas na Tabela 3 para os parafusos genéricos e Tabela 4 correspondentes ao parafuso normatizado.

Comparando as duas Tabelas (3 e 4), observa-se que não houve variação significativa nos valores encontrados, inferindo que ambos os parafusos possuem elementos de liga similares. A matéria-prima do aço SAE 4135, possui a dureza em aproximadamente 175 ~180 HB em seu estado laminado/normatizado, relativamente “mole”.

TABELA 3. Dureza HRC parafuso genérico

	Especificado (ABNT EB-168)		ENDEN- TAÇÃO	PFg 1	PFg 2	PFg 3	MÉDIA
HRC	Min	32	1	33	32	32	33 ± 1,53
	Máx	39					
	Min	32	2	32	32	32	32 ± 0,58
	Máx	39					
	Min	32	3	35	33	34	32 ± 1,15
	Máx	39					

PFg: Parafuso genérico.

Fonte: Autor (2022).

Assim, para os valores de dureza média obtidos, nota-se que os parafusos ensaiados passaram pelos tratamentos térmicos determinados pela norma ISO 898 de tempera e revenimento (GARCIA, 2017).

TABELA 4. Dureza HRC parafuso normatizado

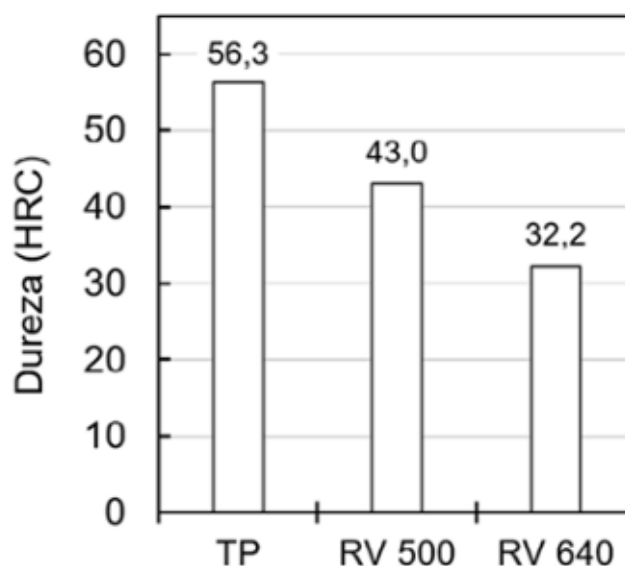
	Especificado (ABNT EB-168)		ENDEN- TAÇÃO	PFn 1	PFn 2	PFn 3	MÉDIA
HRC	Min	32	1	33	34	32	33 ± 0,58
	Máx	39					
	Min	32	2	34	33	33	34 ± 0,58
	Máx	39					
	Min	32	3	33	34	34	33 ± 1,00
	Máx	39					

PFn: Parafuso normatizado.

Fonte: Autor (2022).

A Figura 7 mostra os resultados de dureza HRC para o aço SAE 4340 que foi temperado após austenitização a 850 °C e revenido nas temperaturas de 500 °C e 640 °C (PINEDO, 2021). No gráfico, nota-se a queda de dureza com o aumento na temperatura de revenimento de 500 °C para 640 °C.

FIGURA 7. Dureza do aço SAE 4340 em função da tempera e revenimento



Fonte: PINEDO (2021).

Considerando que a norma ISO 898 determina uma temperatura de revenimento a partir de 425 °C, então para esse material apresentar valores de dureza em torno de 32 ~39 HRC estabelecido pela norma, a temperatura ideal de revenimento seria em torno de 600 °C. Já para o aço 4135, a temperatura de revenimento é mais baixa, entre 500 ~550 °C, conforme estudado por Ferreira *et al.*, (2021). Percebe-se que a temperatura de revenimento, é um parâmetro primordial para definir as propriedades mecânicas do parafuso, e que varia de acordo com o tipo de aço utilizado.

Portanto, conclui-se que os parafusos genéricos e normatizados estão de acordo com os requisitos da norma ISO 898-1, apresentando propriedades de dureza equivalentes ao tratamento térmico utilizado.

3.2 Microestrutura e teor de Carbono

O comportamento e as propriedades mecânicas de um material dependem diretamente de sua microestrutura. A microestrutura de um aço e/ou uma liga depende de sua composição química e suas concentrações, além do tipo de tratamento térmico ao que o material foi submetido (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2012).

Por exemplo, é comum que ocorra a fragilização do material pela tempera, pois ao elevar o material a temperatura de austenitização, em seguida de um resfriamento abrupto, resulta em uma fase metaestável martensítica (PINEDO, 2021).

A martensita é uma solução sólida supersaturada de carbono em ferro tetragonal de corpo centrado (TCC), com tensões residuais excessivas, ductilidade e tenacidade muito baixas (COLPAERT, 2008). Como por exemplo, observa-se o aumento significativo de sua dureza (Figura 7) e sua fragilidade com a perda de propriedades mecânicas. Dessa maneira, para que ocorra o alívio das tensões excessivas provenientes da têmpera, realiza-se o tratamento térmico de revenimento para se atingir valores adequados de propriedades mecânicas (SILVA, 2021).

A estrutura obtida pelo revenimento é chamada de martensita revenida, composta por ferrita e cementita com características de bainita. A forma de sua microestrutura depende diretamente da % de carbono da liga e das etapas realizadas do revenimento (temperatura de transformação entre 250 ~ 700 °C) em que o material foi submetido.

A microestrutura em formatos do tipo “ripa” pode ser observados nos aços de baixo carbono (< 0,6 %C) e do tipo “agulhas” para aços de alto carbono (acima de 1 %) (COLPAERT, 2008; SILVA, 2021).

Os parafusos da classe 10.9 podem ser fabricados de aço carbono com aditivos e aços ligas de carbono com até 0,55% de carbono e de enxofre de 0,025% em massa (ISO 898, 2013). Os resultados desses elementos em massa dos parafusos genéricos e normatizados estão conforme exigidos pela norma (Tabela 5), pois o enxofre é uma impureza que pode favorecer a formações de inclusões no material.

TABELA 5. Teor de carbono e de enxofre dos parafusos genéricos e normatizados

Elemento	Parafusos genéricos	Parafusos normatizados
% Carbono (C) 0,20~0,55	0,3160 % ±0,003	0,3430% ±0,002
% Enxofre (S) 0,25 max	0,007 % ±0,0002	0,010% ±0,0003

Fonte: Autor (2022).

A Figura 8 corresponde a microestrutura dos parafusos genéricos e a Figura 9 dos parafusos normatizado tanto na região do flanco e do núcleo. Nota-se que as microestruturas são formadas por martensita revenida em formas de “ripas”, tanto na região do flanco e da região do núcleo, não sendo possível observar diferenças significativas entre elas. Sendo possível, concluir que os parafusos passaram pelos tratamentos térmicos determinados pela norma ISO 898-1.

FIGURA 8. Microestrutura parafuso genérico a) x100, b) 500x flanco e c) x500 núcleo.



Fonte: Autor (2022).

FIGURA 9. Microestrutura parafuso normatizado a) x100, b) 500x flanco e c) x500 núcleo.



Fonte: Autor (2022).

4. CONCLUSÕES,

Foram analisados parafusos da classe de resistência 10.9 de diferentes fontes de fornecimento, sendo uma especificada pelo próprio fabricante e outro parafuso classificado como genérico. Os resultados das propriedades mecânicas dos parafusos ensaiados foram caracterizados metalurgicamente e mecanicamente, de acordo com norma Internacional ISO 898-1 que diz respeito as especificações de parafusos da classe 10.9. Com os resultados obtidos, foi possível chegar as seguintes conclusões:

Quanto as propriedades mecânicas de tração, as amostras genéricas ensaiadas, possuíam limites de resistência e de escoamento ligeiramente acima dos valores das amostras normatizadas, porém as amostras normatizadas tiveram um alongamento percentual superior às amostras genéricas. Mesmo assim, nenhuma das amostras apresentaram valor divergente das especificações da Norma ISO 898.

Quanto aos valores de dureza encontrados, ambos os tipos ensaiados não apresentaram valores discrepantes de suas médias. No entanto, os resultados foram muito perto dos limites mínimos especificados, mas não configuram um desvio dos padrões.

No ensaio metalográfico, encontrou-se microestruturas martensíticas revenidas, indicando que ambos os parafusos passaram por processos de tratamento térmicos eficientes. Considerando o percentual de carbono encontrado nas amostras, ambos utilizaram percentuais de carbono semelhantes e também não houve a presença de contaminantes do elemento enxofre em excesso em nenhum dos materiais.

De uma maneira geral, os parafusos genéricos, mesmo não possuindo um certificado de qualidade quanto sua origem, mostrou uma qualidade da matéria-prima utilizada, assim como seu processo de fabricação, pois apresentaram valores exigidos pela norma ISO 898. Além disso, os parafusos normatizados não apresentam nenhuma propriedade destoante a norma, inferindo que a utilização dos mesmos realmente é segura e confiável.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

BERARDI, Fasteners. Quality guaranteed, selection of sources and materials, people and tools, 2022. Disponível em: <<https://www.berardi-screws-bolts.com/about-us/quality/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2022.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G. Ciência e Engenharia dos Materiais - Uma Introdução. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

COLPAERT, Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4ª edição. São Paulo: Blucher, 2008.

FATI, Ferramentas. A história dos parafusos e suas especialidades, 2020. Disponível em: <<https://www.fatiferramentas.com.br/a-historia-dos-parafusos-e-suas-especialidades>>. Acesso em: 1 de outubro de 2022.

FERREIRA, Itamar; MARCELO, André L.; UEHARA, André Y.; Martins, Jairo A.; UTIYAMA, Roberto M.; TOKIMATSU, Ruis C. Propriedades de Fadiga de Parafusos de Alta Resistência Mecânica Parte 1, 2021. Disponível em: < <http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=464>>. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. Ensaios dos materiais. 1ª edição. Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC, 2017.

NORD-LOCK, International. The history of the bolt, 2022. Disponível em: < <https://www.nord-lock.com/tr-tr/insights/knowledge/2017/the-history-of-the-bolt/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 898-1: Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread. Geneva: ISO, 2013.

PINEDO, Carlos Eduardo. Tratamentos térmicos e superficiais dos aços. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2021.

SANTOS, Givanildo Alves dos. Tecnologia dos materiais metálicos: propriedades, estruturas e processos de obtenção. 1ª edição. São Paulo: Érica, 2015.

SILVA, André Luiz V. da Costa; MEI, Paulo Roberto. Aços e ligas especiais. 4ª edição. São Paulo: Blucher, 2021.

THOMPSON, Rob. Automotive Maintenance & Light Repair. 2ª edição. Boston: Cengage, 2019.