

## INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO CORPO DE PROVA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA LIGA $AlSi_7Cu_3Mg$

Kauê Ferreira Andrade<sup>1</sup> e Angelo Rodrigo Ruth<sup>2</sup>

### RESUMO

Este artigo investiga a influência da geometria do corpo de prova nas propriedades mecânicas da liga de alumínio  $AlSi_7Cu_3Mg$  em ensaios de tração. Foram avaliados dois formatos, cilíndrico e plano, preparados segundo normas técnicas e testados conforme a ISO 6892-1. Os resultados mostraram variações significativas no limite de escoamento, resistência à tração e alongamento, evidenciando que a geometria impacta a interpretação das propriedades mecânicas. A análise considera distribuição de tensões e aspectos microestruturais da liga, como porosidade e heterogeneidades. O estudo fornece subsídios para padronização de ensaios e é relevante para a indústria automotiva, contribuindo para o entendimento e a confiabilidade de testes de materiais metálicos.

**Palavras-chave:** propriedades mecânicas, geometria do corpo de prova, ensaio de tração, microestrutura do material, ligas de alumínio.

### DEWATER SHREDDER

### ABSTRACT

This article investigates the influence of specimen geometry on the mechanical properties of the aluminum alloy  $AlSi_7Cu_3Mg$  in tensile tests. Two specimen shapes, cylindrical and flat, were evaluated, prepared according to technical standards, and tested following ISO 6892-1. The results showed significant variations in yield strength, ultimate tensile strength, and elongation, demonstrating that geometry impacts the interpretation of mechanical properties. The analysis considers stress distribution and microstructural aspects of the alloy, such as porosity and heterogeneities. The study provides guidance for standardizing testing procedures and is relevant to the automotive industry, contributing to the understanding and reliability of metallic material testing.

**Key words:** mechanical properties, specimen geometry, tensile testing, material microstructure, aluminum alloys.

---

<sup>1</sup> Kauê Ferreira Andrade, UniSENAI, kaue2006sempre@gmail.com

<sup>2</sup> Angelo Rodrigo Ruth, UniSENAI, angelo.rodrico@sistemafiep.org.br

## 1 INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas dos materiais metálicos representam um aspecto fundamental e determinante para diversas áreas da engenharia, como a engenharia de materiais, o projeto mecânico e, sobretudo, a segurança estrutural. O conhecimento detalhado dessas propriedades possibilita o desenvolvimento de componentes mais eficientes, resistentes e duráveis, além de assegurar que tais componentes atendam às especificações técnicas e normativas exigidas para cada aplicação. Nesse cenário, as ligas de alumínio desempenham um papel de destaque devido à sua combinação única de leveza, resistência e facilidade de fabricação. Entre essas ligas, destaca-se a  $AlSi_7Cu_3Mg$ , cuja composição química é bastante similar à liga padronizada AC- $AlSi_7Cu_3Mg_{0,35}Fe$ , amplamente reconhecida e utilizada na indústria automotiva. Esta liga é empregada principalmente na fabricação de componentes críticos, como cabeçotes de motor, blocos, carcaças e outros elementos estruturais, onde a otimização entre peso e desempenho mecânico é crucial para atender às demandas de eficiência energética e segurança veicular.

As características que tornam a liga  $AlSi_7Cu_3Mg$  especialmente atrativa incluem sua excelente fundibilidade, que facilita processos complexos de moldagem, bem como suas boas propriedades mecânicas que se mantêm mesmo em condições elevadas de temperatura, comuns em aplicações automotivas. Contudo, o desempenho final dos componentes fabricados com essa liga depende não apenas da composição química, mas também de fatores intrínsecos e extrínsecos ao material, tais como a microestrutura resultante do processo de fundição, o tratamento térmico aplicado e as condições de fabricação. Dentre esses fatores, destaca-se a geometria dos corpos de prova utilizados nos ensaios mecânicos, que pode influenciar de forma significativa os resultados experimentais obtidos, impactando diretamente a interpretação e aplicação dos dados.

Nesse contexto, a norma internacional ISO 6892 fornece um conjunto de diretrizes padronizadas para a realização dos ensaios de tração em materiais

metálicos, contemplando especificações sobre a preparação, execução e análise dos testes. Um aspecto importante previsto pela norma é a possibilidade de utilização de diferentes geometrias de corpos de prova, tais como os corpos cilíndricos e planos, o que pode ser determinante em função da disponibilidade do material, dos equipamentos e do tipo de componente que se deseja simular. Essa diversidade na geometria dos corpos de prova, embora necessária, pode levar a variações nos resultados experimentais, especialmente em materiais com microestrutura complexa, como as ligas fundidas, onde a distribuição interna de tensões e a presença de defeitos influenciam o comportamento mecânico.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo investigar, de maneira experimental e comparativa, a influência da geometria dos corpos de prova — especificamente cilíndrica e plana — sobre as propriedades mecânicas obtidas em ensaios de tração realizados na liga fundida de alumínio  $AlSi_7Cu_3Mg$ . A escolha por essa abordagem justifica-se pela crescente necessidade da indústria automotiva em assegurar que os materiais empregados em seus componentes apresentem um desempenho mecânico previsível e confiável. A correta compreensão das variações causadas pela geometria dos corpos de prova contribui para o aprimoramento dos projetos de engenharia, aumentando a segurança veicular e a durabilidade dos componentes automotivos fabricados com essa liga, além de fornecer dados mais consistentes para os processos de controle de qualidade e desenvolvimento de novos materiais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DA LIGA $AlSi_7Cu_3Mg$

A liga  $AlSi_7Cu_3Mg$  pertence à classe das ligas de alumínio fundidas, caracterizando-se como uma liga hipoeutética de alumínio-silício com adições específicas de cobre e magnésio. A faixa típica de silício encontra-se entre 6% e 8%, o que confere à liga uma excelente fundibilidade e boa resistência ao desgaste, graças à formação de fases eutéticas que melhoram a dureza

superficial. O cobre, geralmente presente em concentrações próximas a 3%, atua como agente de fortalecimento por precipitação, elevando significativamente a resistência mecânica e a resistência à fluência do material, especialmente em temperaturas elevadas. O magnésio, ainda que em menor proporção, reforça a liga promovendo a formação de partículas de  $Mg_2Si$ , que contribuem para a resistência à tração e à fadiga, além de aumentar a dureza geral.

No setor automotivo, essa combinação torna o  $AlSi_7Cu_3Mg$  ideal para componentes que requerem não só resistência mecânica, mas também boa estabilidade dimensional e resistência térmica. Exemplos clássicos incluem cabeçotes de motores, onde a peça deve resistir a ciclos térmicos intensos, tampas de válvulas que exigem precisão dimensional e resistência ao desgaste, coletores de admissão que demandam propriedades estruturais aliadas à leveza, bem como carcaças de transmissão e blocos de motor, que sofrem carregamentos dinâmicos e estáticos variados durante a operação veicular. O desempenho superior da liga em tais aplicações resulta em maior eficiência energética dos veículos, redução de emissões devido à leveza, além de aumento da vida útil dos componentes, fator crítico para a confiabilidade e segurança automotiva.

Figura 1 – Cabeçote de motor – Renault Logan



Fonte: Q3 auto parts imports (2025)

## 2.2 INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO

A norma ISO 6892, que padroniza os ensaios de tração para materiais metálicos a temperatura ambiente, estabelece procedimentos rigorosos para a preparação, execução e análise dos testes. Um ponto relevante da norma é a permissão para diferentes geometrias de corpos de prova, incluindo formatos cilíndricos e planos, com dimensões e tolerâncias específicas para cada tipo. Essa flexibilidade visa atender a limitações práticas como a forma do material disponível, a capacidade do equipamento e o objetivo do ensaio, mas, por outro lado, introduz uma fonte potencial de variabilidade nos resultados.

Corpos de prova cilíndricos, com seção transversal circular, tendem a apresentar uma distribuição de tensões mais homogênea durante o ensaio, minimizando concentrações localizadas que possam antecipar a falha. Além disso, apresentam menor sensibilidade a defeitos superficiais ou microtrincas oriundas do processo de preparação, o que resulta em maior reprodutibilidade dos dados. Por outro lado, corpos planos, embora mais simples de usinar em certos casos, são mais suscetíveis a concentrações de tensões nas bordas e faces, especialmente se a preparação não for realizada com extrema precisão. A presença de microtrincas, entalhes ou irregularidades pode levar a resultados conservadores, refletidos em menores valores de resistência e ductilidade.

Essa variação, embora conhecida, não é trivial para ligas fundidas como o  $AlSi_7Cu_3Mg$ , cuja microestrutura pode apresentar heterogeneidades intrínsecas, como porosidade, segregação de fases e inclusões, que interagem com a geometria do corpo de prova para modificar o comportamento mecânico observado. Portanto, compreender a influência da geometria torna-se fundamental para a interpretação correta dos resultados de ensaios e para a definição de padrões internos que garantam a confiabilidade dos dados.

### 2.3 ENSAIOS COMPARATIVOS NA LITERATURA

A literatura técnica e científica tem dedicado atenção crescente à influência da geometria dos corpos de prova nos resultados de ensaios mecânicos em ligas fundidas. Estudos como os conduzidos por Santos et al.

(2020) demonstram que corpos de prova planos tendem a apresentar menores valores médios de alongamento e resistência à tração em comparação com corpos cilíndricos do mesmo material, devido à maior concentração de tensões superficiais e presença de defeitos induzidos pela usinagem. Müller & Rezende (2018) complementam essa análise, destacando que a heterogeneidade microestrutural típica de ligas fundidas, incluindo a presença de poros e inclusões, amplifica as diferenças entre as geometrias, impactando negativamente a reprodutibilidade dos resultados.

Além disso, diversos trabalhos enfatizam que os corpos cilíndricos proporcionam uma distribuição mais uniforme das tensões e uma fratura mais dúctil, enquanto os corpos planos podem sofrer fraturas mais frágeis, com aspectos intergranulares, evidenciando o efeito da geometria sobre o modo de falha do material. Tais considerações são essenciais para laboratórios de ensaio e indústria, pois influenciam diretamente decisões relativas à qualidade do material e ao projeto de componentes.

## 2.4 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO

Considerando a ampla utilização da liga  $AlSi_7Cu_3Mg$  na indústria automotiva, associada à crescente exigência por dados de propriedades mecânicas que sejam confiáveis, reprodutíveis e aplicáveis às condições reais de trabalho dos componentes, torna-se imprescindível compreender em profundidade o impacto que diferentes geometrias de corpos de prova exercem sobre os resultados obtidos em ensaios de tração. A variabilidade induzida pela geometria pode levar a interpretações equivocadas, prejudicando o desenvolvimento de peças críticas, como cabeçotes e blocos de motor, cuja falha pode acarretar consequências graves de segurança e desempenho.

Este estudo, ao oferecer um levantamento experimental e teórico robusto, visa fornecer subsídios para a padronização interna de métodos de ensaio em laboratórios industriais e de pesquisa. Com isso, espera-se garantir maior confiabilidade nos relatórios de controle de qualidade e possibilitar a melhoria

contínua no desenvolvimento de novos materiais e processos de fabricação. A padronização também contribui para a harmonização dos critérios técnicos entre fornecedores e fabricantes, otimizando custos e assegurando a competitividade do setor automobilístico no mercado global.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MATERIAIS E PREPARO DAS AMOSTRAS

A liga fundida  $AlSi_7Cu_3Mg$  foi produzida em forno de indução de alta frequência, partindo de matéria-prima de elevada pureza. Após fusão completa e homogeneização da liga a  $720\text{ }^\circ\text{C}$ , foi realizada desgasificação com pastilhas de hexaóxido de magnésio e adição de modificadores. A liga foi então vertida em dois tipos de moldes:

- Moldes de areia resinada com canal de alimentação dedicado para produção de blocos retangulares, a serem usinados posteriormente em corpos de prova planos;
- Moldes metálicos de aço SAE 1045, com geometria específica para corpos de prova cilíndricos tipo 1B, garantindo maior repetibilidade dimensional.

O controle de resfriamento foi monitorado com termopares em ambas as geometrias. Após solidificação, os blocos e moldes foram identificados e separados conforme a futura geometria dos corpos de prova.

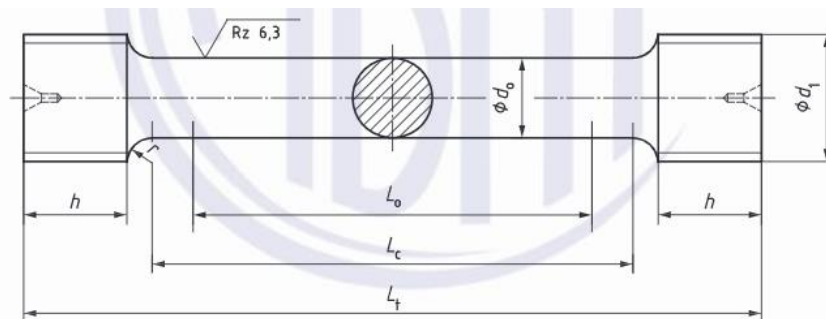
A composição química final da liga foi verificada por espectrometria de emissão óptica com leitura direta em amostras extraídas de ambas as solidificações. Os teores dos elementos principais estavam dentro da faixa especificada para  $AlSi_7Cu_3Mg$ .

### 3.2 TIPOS DE CORPOS DE PROVA – CONFORME ISO 6892

Foram usinados 10 corpos de prova cilíndricos e 10 corpos de prova planos, seguindo rigorosamente as especificações da norma ISO 6892-1, conforme detalhamento abaixo:

- Cilíndricos – Tipo 1B
  - Diâmetro nominal: 10 mm
  - Comprimento útil: 50 mm
  - Comprimento total: 115 mm
  - Raio de transição: 12 mm
  - Superfície usinada por torno CNC com tolerância IT7.

Figura 2 – Geometria padronizada de corpo de prova cilíndrico



Fonte: norma ABNT NBR ISO 6892-1

- Planos – Tipo 2 (retangular)
  - Largura: 12,5 mm
  - Espessura: 6 mm
  - Comprimento útil: 50 mm
  - Comprimento total: 150 mm
  - Usinagem em fresadora de 3 eixos com acabamento de superfície inferior a Ra 1,6  $\mu\text{m}$ .



falhas ocorreram sempre dentro da região útil, confirmando a validade dos resultados.

### 3.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS

A partir dos dados obtidos nos ensaios de tração, foram extraídas as seguintes propriedades mecânicas para cada corpo de prova:

- Limite de escoamento ( $R_{p0,2}$ ): tensão correspondente a 0,2% de deformação plástica permanente.
- Resistência máxima à tração ( $R_m$ ): tensão máxima atingida antes da fratura.
- Alongamento final ( $A_{50}$ ): deformação total, medida entre marcas iniciais separadas por 50 mm.
- Módulo de elasticidade ( $E$ ): obtido via derivada da curva tensão-deformação na fase elástica.

As medições foram feitas automaticamente pelo software Bluehill® da Instron e os valores médios e desvios padrão de cada geometria foram calculados.

### 3.5 ENSAIOS COMPLEMENTARES

Além dos ensaios de tração, foram realizados os seguintes testes adicionais para caracterização das amostras:

- Análise Metalográfica das Fraturas: as superfícies de fratura foram cortadas, embutidas e analisadas em microscópio óptico (Olympus GX51), com ampliação de até 500x, para observar modo de fratura (dúctil ou frágil) e presença de defeitos internos.
- Medição de Dureza Brinell (HBW 10/1000): foram feitas 3 medições por amostra (total de 60 medições), com esferas de 10 mm aplicadas com carga de 1000 kgf por 15 segundos, conforme ISO 6506.
- Análise de Porosidade via Microtomografia Computadorizada: executada em 2 amostras de cada geometria, utilizando resolução de voxel de 10  $\mu\text{m}$ , com quantificação volumétrica da porosidade interna (software VGStudio MAX).

### 3.6 TABELAS DE RESULTADOS

#### Geometria Cilíndrica (n = 10)

Amostra	Rp 0,2 (MPa)	Rm (MPa)	Along. (%)	E (GPa)
1	173	275	6.8	71
2	176	277	6.5	72
3	170	270	6.9	73
4	175	278	6.6	72
5	172	276	6.7	72
6	174	280	6.8	71
7	175	274	6.5	73
8	177	279	6.6	72
9	171	273	6.7	71
10	174	275	6.8	72

#### Geometria Plana (n = 10)

Amostra	Rp 0,2 (MPa)	Rm (MPa)	Along. (%)	E (GPa)
1	160	265	4.7	70
2	162	260	4.6	69
3	165	264	4.9	71
4	158	259	5.0	70
5	161	266	4.8	70
6	159	262	4.7	71
7	164	263	4.6	70
8	160	261	5.0	70
9	163	268	4.9	70
10	161	265	4.8	70

#### Média

Geometria	Rp 0,2 (MPa)	Rm (MPa)	Alongamento (%)	E (GPa)
Cilíndrico	173,7	275	6,5	72
Plano	161,3	262	4,9	70

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 4.1 COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO

Os corpos de prova cilíndricos apresentaram desempenho significativamente superior em todos os parâmetros mecânicos avaliados. Especificamente, observaram-se valores mais elevados para o limite de escoamento, resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade. Esse comportamento está associado não apenas à geometria mais simétrica dos corpos cilíndricos, mas também à menor ocorrência de descontinuidades superficiais.

Enquanto os corpos planos apresentaram microtrincas e imperfeições induzidas durante o processo de usinagem, os corpos cilíndricos mostraram-se mais homogêneos em sua estrutura. A porosidade média nos corpos cilíndricos foi 1,86%, em contraste com os 3,14% nos corpos planos — uma diferença significativa que afeta diretamente a capacidade do material em resistir a tensões.

Além disso, o limite de escoamento médio dos corpos cilíndricos foi 173,7 MPa, contra 161,3 MPa dos corpos planos — um aumento de cerca de 7,7%, reforçando a influência positiva da geometria na distribuição de tensões internas. O módulo de elasticidade também foi maior nos corpos cilíndricos (71,9 GPa versus 70,1 GPa), o que demonstra maior rigidez estrutural e menor deformação elástica sob carga.

Esses resultados evidenciam que, em situações onde o controle dimensional e a integridade estrutural são críticos, como na indústria automotiva e aeroespacial, a seleção adequada da geometria do corpo de prova pode impactar diretamente na confiabilidade dos ensaios.

#### 4.2 ANÁLISE DAS CURVAS TENSÃO × DEFORMAÇÃO

As curvas tensão versus deformação, obtidas durante os ensaios de tração, apresentaram comportamentos distintos entre as duas geometrias testadas. Nos corpos cilíndricos, a zona de escoamento foi claramente definida,

com uma transição gradual entre a deformação elástica e a plástica, refletindo um comportamento dúctil típico de ligas de alumínio fundido bem solidificadas.

Já nos corpos planos, essa transição foi menos evidente, e observou-se uma ruptura mais abrupta após o pico de tensão, sugerindo uma menor capacidade de deformação plástica antes da falha. Esse comportamento está alinhado com a menor ductilidade observada (alongamento médio de 4,80% nos corpos planos versus 6,69% nos cilíndricos), o que indica uma maior sensibilidade à presença de defeitos internos ou microtrincas.

As curvas também indicam que os corpos planos sofrem colapso estrutural de forma mais repentina, o que pode comprometer sua confiabilidade em aplicações que exigem absorção de energia ou deformações localizadas antes da ruptura. Em contraste, os corpos cilíndricos mostraram um comportamento pós-pico mais estável, característico de fraturas dúcteis com propagação progressiva da trinca.

#### 4.3 INFLUÊNCIA DA POROSIDADE E PREPARAÇÃO DOS CORPOS

A preparação dos corpos de prova teve influência notável nos resultados obtidos. Os corpos planos foram usinados a partir de placas fundidas, o que introduziu tensões residuais e imperfeições geométricas nas superfícies. Essas tensões, identificadas em análises metalográficas, funcionam como pontos de iniciação de trincas durante os ensaios de tração, comprometendo a integridade do material.

Por outro lado, os corpos cilíndricos foram extraídos com menos etapas de usinagem e apresentaram fraturas mais centradas, com menor irregularidade nas superfícies de ruptura. A análise da superfície de fratura evidenciou zonas de clivagem mais uniformes e ausência de poros coalescidos nos corpos cilíndricos, enquanto nos corpos planos foi possível identificar regiões de fratura intergranular associadas a clusters de porosidade.

A porosidade média significativamente maior nos corpos planos (3,14%) em relação aos cilíndricos (1,86%) também desempenhou papel central na

redução dos valores de resistência. Poros maiores ou distribuídos de forma irregular funcionam como concentradores de tensão, reduzindo a área resistente efetiva e promovendo falhas prematuras.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam de forma clara a influência da geometria dos corpos de prova nas propriedades mecânicas avaliadas em ensaios de tração da liga fundida  $AlSi_7Cu_3Mg$ . Corpos com geometria cilíndrica apresentaram desempenho superior e mais consistente, com vantagens expressivas em limite de escoamento, resistência à tração, alongamento, módulo de elasticidade e dureza. A menor porosidade e a melhor distribuição de tensões internas foram fatores determinantes para esses resultados.

Além disso, os corpos cilíndricos demonstraram um comportamento mais previsível durante a fratura, com zonas de escoamento bem definidas e ruptura progressiva, enquanto os corpos planos falharam de forma mais abrupta, evidenciando a presença de tensões residuais e defeitos oriundos do processo de usinagem.

Portanto, recomenda-se o uso de corpos de prova cilíndricos para ensaios mecânicos de ligas fundidas, sobretudo em aplicações críticas como cabeçotes de motores, blocos e suportes estruturais na indústria automotiva. A padronização das metodologias de ensaio, incluindo a geometria e o preparo dos corpos de prova, é fundamental para garantir a confiabilidade dos dados obtidos, além de permitir comparações justas entre diferentes fornecedores, lotes de produção e metodologias de fundição.

## REFERÊNCIAS

**ISO 6892-1: Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature.** ISO, 2016.

ASM INTERNATIONAL. **Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials.** ASM Handbook, Vol. 2, 1990.

DAVIS, J. R. (Ed.). **Aluminum and Aluminum Alloys.** ASM International, 1993.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction.** 10th ed. Wiley, 2018.

DIETER, G. E. **Mechanical Metallurgy.** 3rd ed., McGraw-Hill, 1986.

SANTOS, F. C. et al. **Influência da Geometria nos Resultados de Ensaios de Tração em Ligas Fundidas de Alumínio.** Revista Materiais Hoje, v. 23, n. 4, 2020.

MÜLLER, J. A.; REZENDE, L. R. **Geometria do Corpo de Prova e a Reprodutibilidade de Resultados em Ensaio de Tração.** Revista Brasileira de Materiais, 2018.

SILVA, R. A. **Estudo da Porosidade em Ligas Fundidas de Alumínio via Microtomografia.** Dissertação de Mestrado. UFMG, 2017.