

Avaliação do Comportamento Mecânico e da Razão de Proporcionalidade de Ligas Metálicas Através de Correlação Digital por Imagem

Palavras-Chave: ENSAIOS DE TRAÇÃO, LIGAS METÁLICAS, CORRELAÇÃO DIGITAL POR IMAGEM

Autores(as):

Gabriel Fernandes Gonçalves Moreira, FEM – UNICAMP

Diego Batista Valim, FEM - UNICAMP

Nayara Aparecida Fonseca Couto, FEM - UNICAMP

Prof. Dr. Éder Sócrates Najar Lopes (orientador), FEM - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

As propriedades mecânicas, como limite de escoamento, resistência à tração e ductilidade, são fatores fundamentais para a seleção e aplicação de materiais de engenharia em componentes estruturais. O ensaio de tração é o método mais comum para determinar essas propriedades, contudo, as normas vigentes, como a ASTM E8/E8M, embora bem estabelecidas, são genéricas e não abordam adequadamente as particularidades geométricas dos corpos de prova.

Um parâmetro geométrico crucial, que impacta diretamente a medição da ductilidade, é a razão de proporcionalidade (k), definida pela relação entre o comprimento útil inicial (L_0) e a raiz quadrada da área da seção transversal (A_0). Estudos prévios, como o de Oliver, demonstraram que existe uma correlação logarítmica previsível entre k e o alongamento na fratura (ϵ_f), expressa pela equação de Bertella-Oliver ($\epsilon_f = e_0 \cdot k^{-a}$). No entanto, as constantes dessa equação são específicas para cada material e condição de processamento, e há uma carência de dados sistematizados para ligas metálicas comerciais produzidas por processos convencionais, como a fundição.

Este projeto visa, portanto, estudar sistematicamente o comportamento mecânico de corpos de prova de ligas metálicas comerciais (aço e cobre) obtidas por fundição, com foco em compreender os efeitos da variação da razão de proporcionalidade (k) em suas propriedades mecânicas.

METODOLOGIA:

Foram utilizadas barras comerciais de ligas de aço inoxidável 304 e cobre eletrolítico, das quais foram usinados corpos de prova de tração com seção transversal circular, onde suas composições químicas

estão presentes na tabela 1, certificadas pelo fornecedor de cada material. Para cada liga, foram produzidos corpos de prova com quatro diâmetros distintos e dois comprimentos úteis (L_0) de 10 mm e 25 mm, resultando em oito geometrias e, conseqüentemente, oito valores distintos de razão de proporcionalidade (k) por material.

Material:	C	Mn	P	S	Si	Ni	CR
304	0,027	1,63	0,038	0,01	0,44	8,01	18,27
Material:	CU+AG						
Cobre	99,9						

Tabela 1 – Composição química dos materiais utilizados

Os ensaios de tração foram conduzidos em uma máquina de ensaio universal MTS (100 kN) a uma velocidade constante de 1 mm/min, e as propriedades mecânicas foram determinadas conforme a norma ASTM E8/E8M. A deformação foi medida utilizando extensômetros de 10mm e 25mm, dos quais permitiram o mapeamento preciso dos campos de deformação na superfície do corpo de prova. A partir dos dados de força e deformação, foram determinadas as propriedades mecânicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os ensaios de tração revelaram uma influência significativa da geometria do corpo de prova no comportamento mecânico das ligas estudadas. As Figuras 1 e 2 apresentam as curvas representativas de tensão versus deformação para a liga aço inoxidável 304 e cobre eletrolítico, agrupadas por comprimento útil (L_0). Observa-se que, embora o limite de escoamento e de resistência se mantenham relativamente constantes, a ductilidade (deformação até a fratura) varia acentuadamente com a geometria.

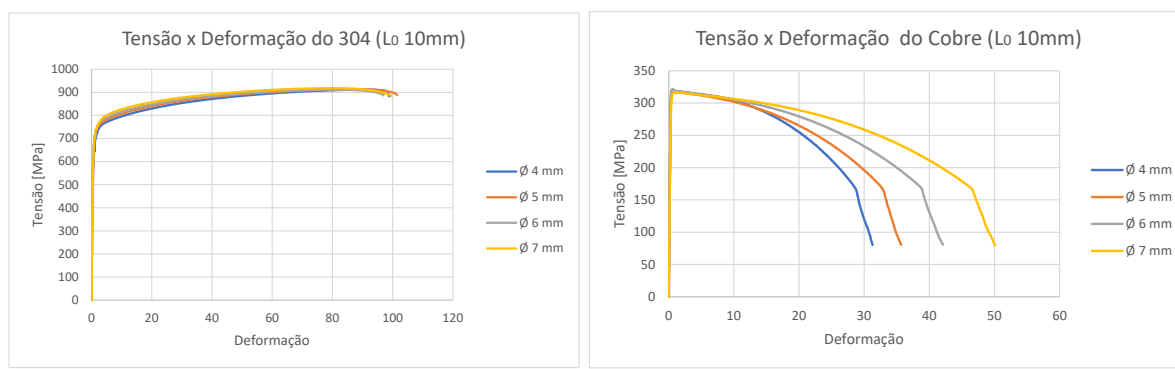


Figura 2 – Curva Tensão x Deformação do aço inoxidável 304 e do cobre eletrolítico, respectivamente, com L_0 de 10mm

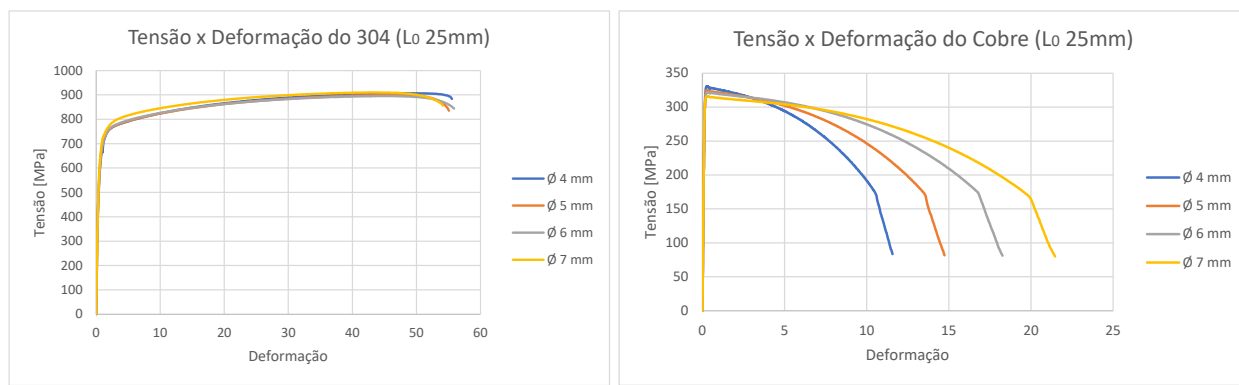


Figura 2 – Curva Tensão x Deformação do aço inoxidável 304 e do cobre eletrolítico, respectivamente, com L_0 de 25mm

Os valores numéricos de todas as propriedades mecânicas obtidas para cada condição de ensaio estão compilados na Tabela 2. Os dados mostram que as propriedades de ductilidade são mais sensíveis à variação da razão de proporcionalidade k .

304	YS (MPa)	UTS (MPa)	E (GPa)	K	A ₀ (mm ²)
Ø4 x L ₀ de 10mm	556,57	912,30	155,69	2,84	12,44
Ø5 x L ₀ de 10mm	641,16	913,17	169,08	2,26	19,63
Ø6 x L ₀ de 10mm	637,13	912,02	176,53	1,87	28,46
Ø7 x L ₀ de 10mm	607,89	917,98	162,82	1,61	38,48
Ø4 x L ₀ de 25mm	669,05	906,85	176,10	7,12	12,32
Ø5 x L ₀ de 25mm	609,95	898,99	161,76	5,65	19,56
Ø6 x L ₀ de 25mm	632,00	895,14	163,80	4,69	28,37
Ø7 x L ₀ de 25mm	658,64	909,63	159,88	4,04	38,26
COBRE	YS (MPa)	UTS (MPa)	E (GPa)	K	A ₀ (mm ²)
Ø4 x L ₀ de 10mm	326,00	320,94	105,87	2,82	12,57
Ø5 x L ₀ de 10mm	329,56	320,19	108,73	2,25	19,71
Ø6 x L ₀ de 10mm	326,62	320,78	113,61	1,88	28,37
Ø7 x L ₀ de 10mm	322,64	316,86	95,05	1,61	38,59
Ø4 x L ₀ de 25mm	331,84	330,78	259,34	7,07	12,50
Ø5 x L ₀ de 25mm	329,25	325,21	272,06	5,63	19,71
Ø6 x L ₀ de 25mm	331,51	322,04	280,59	4,72	28,09
Ø7 x L ₀ de 25mm	319,69	316,11	284,30	4,02	38,59

Tabela 2 – Propriedades dos materiais ensaiados

CONCLUSÕES:

Este estudo demonstrou experimentalmente o efeito da razão de proporcionalidade (k) nas propriedades mecânicas de tração de ligas de aço, cobre e alumínio fundidas. Foi comprovado que a tenacidade à tração (U_t) apresentam uma forte dependência da geometria do corpo de prova, seguindo uma relação com a razão de proporcionalidade k , o que valida a criação da equação de Bertella-Oliver para estas ligas, pois mostram que realmente há uma transformação de propriedades relativas ao k . Finalmente, a metodologia que combina ensaios de tração com os extensômetros provaram ser altamente eficazes para a caracterização precisa do comportamento mecânico e para a validação de relações teóricas, reforçando a necessidade de considerar os efeitos geométricos na avaliação de materiais.

BIBLIOGRAFIA:

ASTM E8/E8M-21. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM International, 2021.

ISO 6892-1:2019. Metallic Materials - Tensile Testing - Part 1: Method of Test at Room Temperature.

MOURA, L. S. et al. A highly accurate methodology for the prediction and correlation of mechanical properties based on the slinness ratio of additively manufactured tensile test specimens. *Journal of Materials Science*, v. 55, p. 9578–9596, 2020.

OLIVER, D. A. Proposed New Criteria of Ductility from a New Law Connecting the Percentage Elongation with Size of Test-Piece. *Proc. IMechE*, v. 115, p. 827–864, 1928.

ZHANG, L. et al. The development of miniature tensile specimens with non-standard aspect and slinness ratios for rapid alloy prototyping processes. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 15, p. 1830–1843, 2021.

NGO, M. C. et al. Analysis of thermal strain of metallized silicon nitride substrate under cyclic thermal loading by digital image correlation. *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, v. 21, n. 2, p. 1032–1041, 2024.