

## CAPÍTULO 7

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DE TRAÇÃO DA LIGA BINÁRIA HIPOEUTÉTICA AL-1%NI



<https://doi.org/10.22533/at.ed.804112520037>

*Data de aceite: 16/07/2025*

### Alicia Regina Zanon Barbosa

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/2085252897942870>

### Deibson Silva da Costa

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais, Ananindeua – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1521124351431087>

### Eric Elian Lima Espíndola

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1193834237116588>

### Yan Christian Silva de Araújo

Universidade Federal do Pará Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/5136415587850242>

### Emerson Cardoso Rodrigues

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química, Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/7459428211048580>

### Emerson Rodrigues Prazeres

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8918189837419936>

### Amanda Lucena de Medeiros

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém – Pará  
<http://lattes.cnpq.br/7734539626373520>

**RESUMO :** Com o aumento da demanda por energia elétrica nos centros urbanos e setores industriais, impulsiona o desenvolvimento de um material com propriedades adequadas e com um custo econômico, visando à expansão das redes de transmissão e distribuição de energia elétrica. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento do limite de resistência à tração (LRT) da liga binária alumínio (Al) com adição de 1% de níquel (Ni). Foi realizado a fundição da liga, após a solidificação, foi seccionada amostra para o ensaio de resistência à tração em consonância com a norma NBR 6810. Os resultados evidenciaram que a adição de Ni proporcionou um aumento de 36,88% no LRT em comparação ao Al puro. Portanto, verificou-se que a adição de Ni promoveu um aprimoramento da propriedade mecânica da liga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alumínio; Al-Ni; Propriedades Mecânica; Resistência à Tração.

# ANALYSIS OF THE TENSILE MECHANICAL STRENGTH BEHAVIOR OF THE HYPOEUTECTIC BINARY ALLOY AL-1%NI

**ABSTRACT :** With the increasing demand for electric power in urban centers and industrial sectors, the development of materials with suitable properties and economic viability is essential for the expansion of power transmission and distribution networks. In this context, the objective of this study was to analyze the tensile strength limit (TSL) behavior of a binary aluminum (Al) alloy with the addition of 1% nickel (Ni). The alloy was cast, and after solidification, samples were sectioned for tensile testing in accordance with the NBR 6810 standard. The results showed that the addition of Ni led to a 36.88% increase in TSL compared to pure Al. Therefore, it was found that the addition of Ni improved the mechanical properties of the alloy.

**KEYWORDS:** Aluminum; Al-Ni; Mechanical Properties; Tensile Strength.

## INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional nos centros urbanos e a ampliação da indústria, que ocasiona uma expansão nas redes de transmissão e distribuição de energia elétrica. Dessa forma, são realizadas pesquisas que proporcionam novas tecnologias, possibilitando o surgimento de materiais que possuam propriedades adequadas, baixo custo e potencial para fabricação em larga escala para a produção de cabos de distribuição de energia elétrica. Com isso, existe uma busca para materiais mais eficazes e menos onerosos para essa aplicação (Prazeres, 2023).

O alumínio (Al), por sua elevada condutibilidade elétrica e leveza, reúne as características ideais para uma aplicação confiável para a transmissão de energia, com uma das menores taxas de desperdício de eletricidade ao longo das redes de transmissão (Abal, 2023).

No entanto, como o Al comercialmente puro não possui uma resistência mecânica elevada, são adicionados alguns elementos químicos na matriz de alumínio, com o objetivo de elevar os valores de suas propriedades mecânicas sem alterar de forma significativa as propriedades elétricas, tornando a liga adequada para a utilização em cabos de transmissão e distribuição de energia elétrica (Prazeres, 2016).

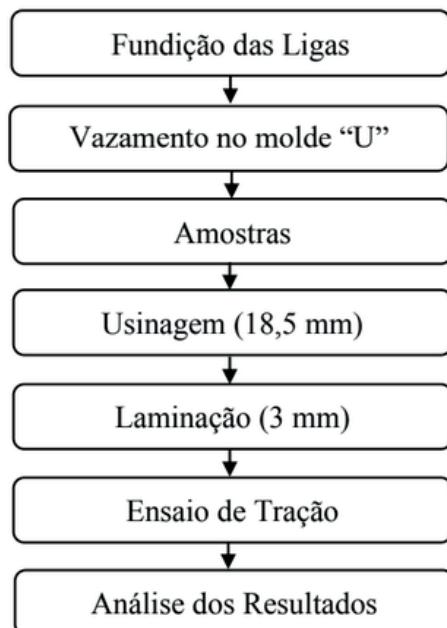
Para melhorar as propriedades do alumínio, como a sua baixa resistência mecânica, são inseridos elementos de liga para o aprimoramento de tal propriedade, e no presente trabalho foi escolhido o Níquel (Ni), frequentemente utilizado junto ao cobre nas matrizes de alumínio (Kaufman; Rooy, 2004). Além disso, o Ni em até 2% em peso pode resultar em um aumento na resistência da liga, contudo, reduz sua ductilidade (Batalu; Georgeta; Angel, 2006).

A liga de alumínio e níquel possui estudos voltados para materiais estruturais com resistência a altas temperaturas identificaram no sistema Al-Ni propriedades benéficas, como boas características elétricas, magnéticas e ópticas, além da resistência à oxidação e elevado ponto de fusão (Kaya *et al.*, 2012, apud Braga *et al.*, 2022).

Portanto, o presente artigo tem como objetivo analisar o comportamento de uma liga de alumínio com 1 % de Níquel quando submetido ao esforço mecânico de tração.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O processo foi iniciado com a fabricação da liga Al - 1% Ni realizado por fundição, seguida pelo seccionamento das amostras para a laminação e posteriormente o ensaio de resistência à tração. O fluxograma esquemático (Figura 1), ilustra a metodologia aplicada no estudo.



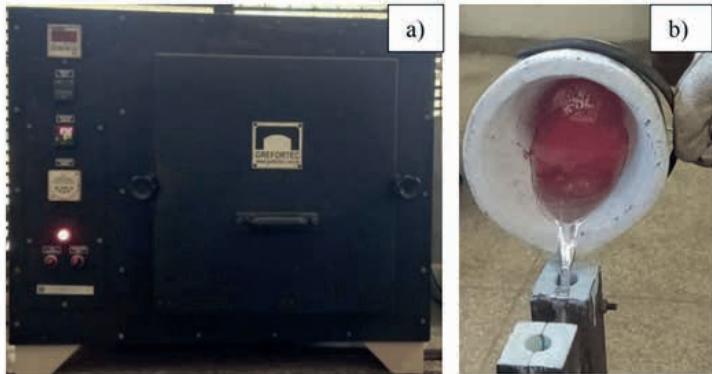
**Figura 1** – Fluxograma dos processos metalúrgicos realizados na liga.

**Fonte:** Autores, 2025.

### Fundição

O processo de produção da liga iniciou-se com o cálculo estequiométrico para determinar a quantidade em peso do Ni em relação a 900 gramas de Al. Posteriormente, os elementos foram inseridos em um cadiño de carbeto de silício (SiC) revertido com alumina em suspensão, a fim de evitar a aderência do metal líquido no cadiño, e colocados no forno mufla da marca GREFORTEC a 900 °C para a fundição dos materiais.

Após à homogeneização dos elementos, o metal líquido foi vazado em um molde de coquilha metálica em formato de “U” revestido com alumina (Figura 2). Após a solidificação das ligas, foram seccionadas amostras para a laminação e o ensaio de resistência à tração.



**Figura 2 – a)** Forno utilizado para a fundição; **b)** Vazamento do metal líquido no molde.

**Fonte:** Autora, 2025.

### Preparação dos Corpos de prova

Para a obtenção dos fios para o ensaio mecânico de tração, foi realizado o processo de usinagem, que, além de melhorar o acabamento superficial, reduziu o diâmetro de 22,0 mm para 18,5 mm. Após o processo de laminação, os fios foram finalizados com o diâmetro de 3 mm. Foram utilizados dois laminadores elétricos duo reversíveis da marca MENAC (Figura 3).



**Figura 3 –** Laminadores Menac.

**Fonte:** Autora, 2025.

### Ensaio de Tração

Após a laminação, foi realizado o ensaio mecânico de tração. Foi utilizado a máquina universal KRATOS, modelo IKCL1-USB, acoplada a um computador com sistema de aquisição de dados (Figura 4). Seguiu-se a norma NBR 6810, que especifica que o comprimento de cada corpo de prova ensaiado deve ser de 200 mm, com um comprimento útil de 150 mm.



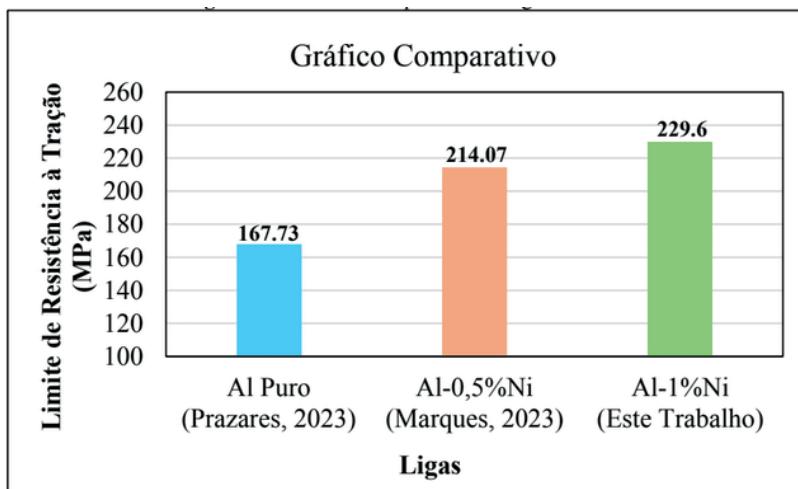
**Figura 4** – Máquina universal KRATOS.

**Fonte:** Autora, 2025.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Limite de Resistência à Tração

Foi possível observar que o Al puro exibiu um valor de 167,73 MPa (Prazeres, 2023), enquanto a liga Al-0,5%Ni atingiu 214,07 MPa (Marques, 2023) e a liga Al-1%Ni alcançou 229,60 MPa (Figura 5). Com esses resultados constata-se uma diferença de 36,88% entre o Al puro e o Al-1%Ni, e uma variação de 7,25% entre a liga Al-0,5%Ni e o Al-1%Ni.



**Figura 5** – Gráfico Comparativo da liga com as literaturas.

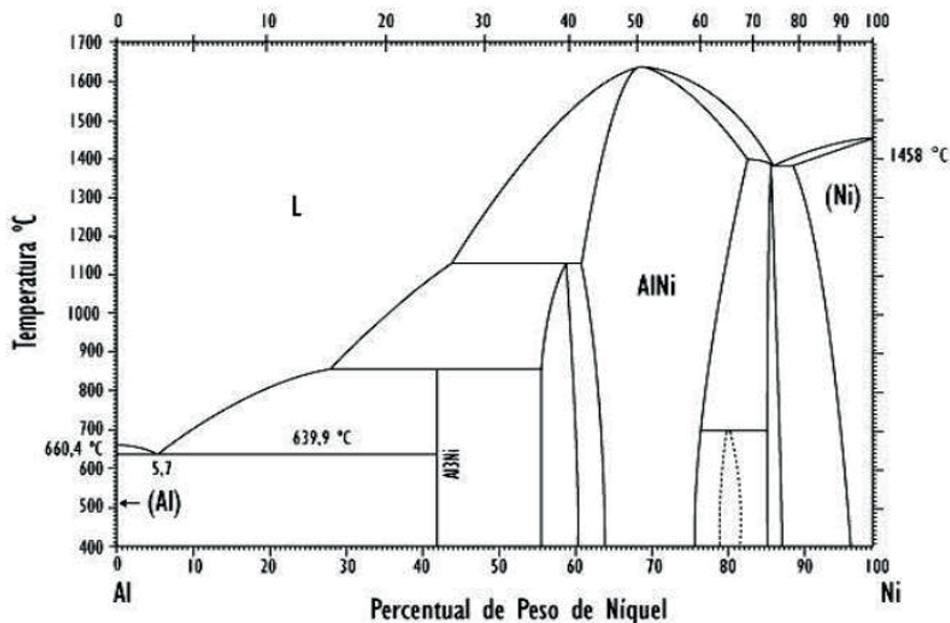
**Fonte:** Autora, 2025.

A diferença dos valores dessa propriedade possível é pela dificuldade na movimentação das discordâncias, resulta no aumento da resistência mecânica do material. Isso sugere que a adição de Ni na matriz de Al, impede a movimentação das discordâncias (Silva, 2020).

Outrossim, a deformação a frio conhecida como laminação possibilita o aumento da resistência mecânica e a dureza da liga, por meio da alteração da morfologia que confere uma estrutura com uma orientação preferencial (Silva, 2022).

Desse modo, com a adição do elemento de liga Ni juntamente com a deformação plástica ocasionada pela laminação, proporcionam uma dificuldade de movimentação das discordâncias, como consequência gera um aumento da resistência da liga Al-1%Ni.

Outro fenômeno que pode modificar as propriedades mecânicas da liga é a formação de composto intermetálico. Conforme o diagrama do sistema Al-Ni (Figura 6).



**Figura 6** – Diagrama Al-Ni.

**Fonte:** Adaptado de ASM International Vol 9, 2004.

A microestrutura formada durante a solidificação consiste em uma matriz dendrítica rica em Al ( $\alpha$ ), com uma mistura eutética na região interdendrítica. Essa composição possui tanto a fase  $\alpha$  quanto o composto intermetálico  $Al_3Ni$ . A combinação das partículas duras de  $Al_3Ni$  nas regiões interdendríticas, fornecendo um reforço à matriz dendrítica, que resulta em um aumento da resistência mecânica (Canté, 2009).

As partículas intermetálicas de  $\text{Al}_3\text{Ni}$ , proporcionam um reforço para a matriz dendrítica, confere um aumento na resistência mecânica na liga Al-Ni. Dessa forma, a adição do Ni em um teor de 1% provavelmente contribuiu para concentração do composto intermetálico  $\text{Al}_3\text{Ni}$ , cuja quantidade foi suficiente para restringir o emaranhamento de discordâncias gerado na liga (Prazeres, 2016).

Desse modo, o aumento da concentração de Ni se mostra com maior resistência por possuir maior quantidade de  $\text{Al}_3\text{Ni}$  que atuam como reforço da matriz dúctil rica em alumínio, que influencia as propriedades mecânicas das ligas (Pinto, 2023). Esse fato pode ser ressaltado ao comparar a liga da literatura de Marques (2023) com a liga Al-1%Ni, houve o aumento do teor de Ni e como resultado um aumento de 7,25% na resistência mecânica de tração da liga.

## CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a adição de Ni na matriz de Al resultou no aumento de 36,88% na propriedade mecânica de tração em comparação ao Al puro. Esse aumento possivelmente foi efeito do impedimento da movimentação das discordâncias ocasionados tanto pela adição de Ni quanto laminação.

Esse aumento também pode ser produzido pela concentração do composto intermetálico  $\text{Al}_3\text{Ni}$  que atuam como reforço da matriz dúctil rica em alumínio, que possivelmente aumentaram a resistência da liga Al-1%Ni.

É possível estudar essa modificação da estrutura com o diagrama de fase do sistema Al-Ni. Isso indica a importância desse diagrama nos estudos das ligas e suas alterações na microestrutura e correlaciona-los com a temperatura e o teor do elemento de liga. Dessa forma, o diagrama foi relevante para analisar a possível fase resultante da liga Al-1%Ni.

## AGRADECIMENTOS

Os professores orientadores e os autores desse trabalho agradecem o apoio da Universidade Federal do Pará (UFPA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Grupo de Pesquisa em Materiais Metálicos (GPEMM) e ao Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais (GPEMAT).

## REFERÊNCIAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio, 2023. **Fundamentos e aplicações do alumínio**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6810: Fios e cabos elétricos – Tração à ruptura em componentes metálicos**. Rio de Janeiro, ago. 1981

AMERICAN SOCIETY FOR METALS (ASM INTERNATIONAL). **Metallography and microstructures**. v 9, American Society for Metals, ASM Handbook, 2004.

BATALU, D., GEORGETA, C., ANGEL, A., 2006. **Critical analysis of Al-Ni phase diagrams**. Metallurgia International, v. 11, n. 8, p. 36-45.

BRAGA, D. S.; SENA JÚNIOR, M. A.; NASCIMENTO, L. G. S.; SALOMÃO, C. O. **Relação entre parâmetros térmicos, microestrutura e dureza de um liga hipereutética do sistema Al-Ni, solidificada em regime transitório de fluxo de calor**. In: Pesquisas e Inovações em Engenharias, Ciências Exatas e da Terra: Produções Científicas Multidisciplinares no Século XXI, v. 3, 2022. Capítulo 11. DOI: 10.5523/1084003.11.

CANTÉ, M. V. **Solidificação Transitória, Microestrutura e Propriedades de Ligas Al-Ni**, 2009, 204f. Tese de Doutorado – UNICAMP, Campinas, 2009.

KAUFFMAN, J. G.; ROOY, E. L. **Aluminum alloy castings: properties, processes and applications**. Materials Park, ASM International. pp.: 47- 54. 2004.

MARQUES, L. L. P. **Correlação das características macroestruturais com as propriedades elétricas das ligas de Al-0,5% e 1,5% Ni tratadas termicamente à 280 °C e 400 °C**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Curso de Engenharia de Materiais, Ananindeua, 2023.

PRAZERES, E. R. **Avaliação da modificação da liga base Al – Cu – Fe – Mg por teores de Ni e Ti quanto a caracterização estrutural, elétrica e mecânica, a partir de ligas solidificadas em molde “U”**, 2016. Dissertação de Mestrado – PPGEM/UFPA. Belém. 2016.

PRAZERES, E.R. **Desenvolvimento de ligas de alumínio nanoestruturadas para a utilização em cabos elétricos**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais na Amazônia, Belém, 2023.

PINTO, M. B. **Estudo da influência da solidificação unidirecional em regime transitório de fluxo de calor na macro e microestrutura de ligas dos sistemas Al-Ni e Al-Cu-Ni**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua, Ananindeua, 2023.

SILVA, E. C. N. **Efeito do silício e do manganês na microestrutura e nas propriedades mecânicas de ligas Al-Si-Mg-Cu forjadas**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), 2020, São Carlos, SP.

SILVA, T. T. L. **Comportamento termoelástico de fios de Ni-Ti com efeito memória de forma processados por laminação a frio**. 2022. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) -Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.