

**CONEM 2016**  
CONGRESSO NACIONAL DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

**21-25**  
**AGOSTO DE 2016**  
**FORTALEZA - CEARÁ**

## **INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DA LIGA AA2024**

**Vivian Maria Marini, vivianmarini@hotmail.com<sup>1</sup>.**

**Bruna Vilas Boas, bruninhavb@yahoo.com.br<sup>1</sup>.**

**Rudimylla da Silva Septímio, rudi\_septimio@hotmail.com<sup>2</sup>.**

**Fabio Gatamorta, fabio.gatamorta@gmail.com<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>Universidade Paulista, Av. Armando Giassetti, 577 – Vila Hortolândia, Jundiaí – SP, CEP: 13214-525

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleyev, 200 – Cidade Universitária, Campinas – SP, CEP: 13083-860

**Resumo:** As ligas de alumínio são frequentemente utilizadas nos processos de conformação devido a sua alta plasticidade. No modelamento do processo a condição da matéria prima é fundamental para a operação e na prevenção de defeitos como trincas ou vazios no produto. A prática mais utilizada de avaliação da matéria prima é a da extrapolação dos resultados de tração, o que pode dar origem a erros de modelagem muito significativos. O trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos processos de fabricação na liga AA2024, quanto a resistência à compressão e sua comparação com os resultados obtidos pela análise numérica por elementos finitos. Amostras da liga na condição fundida e tixoconformada foram caracterizadas metalurgicamente. Os resultados de compressão foram comparados com os encontrados na modelagem e mostraram semelhança entre si, permitindo o uso de ambos os métodos para a determinação dos valores de resistência.

**Palavras-chave:** AA2024, compressão, simulação, tixoconformação.

### **1. INTRODUÇÃO**

A utilização de materiais de baixa densidade na produção de componentes mecânicos é uma boa alternativa para a diminuição de peso em automóveis. Isso representa benefícios na forma de redução do consumo de combustível e emissão de poluentes. O uso do alumínio é indicado nessas aplicações, mas, por ser um material de custo elevado, necessita de um maior cuidado no processo de fabricação. As ligas de alumínio têm alta capacidade plástica e os processos de conformação utilizados estão ligados à necessidade de equipamentos com alta capacidade energética. Diante disso, a tixoconformação busca suprir os requisitos tecnológicos necessários ao uso de ligas de alumínio.

O processo é baseado em uma tecnologia que utiliza o material no estado semissólido. Esses materiais apresentam características próprias por possuírem uma combinação entre fração sólida constituída de glóbulos e uma fração líquida que envolve as partes sólidas. Com essas condições o metal apresenta propriedades particulares de escoamento, comportando-se como um fluido não newtoniano de características tixotrópicas. Esse material tem a consistência de uma pasta que apresenta pequena resistência à deformação e ao ser submetido ao cisalhamento no tempo, esta resistência é vencida e o material passa a fluir como um líquido. (Spencer, 1972). Como diferencial, o material semissólido se torna interessante em qualquer processo de fabricação que envolva aplicação de tensões, desobrigando a utilização de máquinas de grande aporte energético. Além disso, o resultado final desse processo é um produto com características “near-net-shape” e de alta qualidade, reduzindo o uso de processos subsequentes, o que se torna um diferencial competitivo para a indústria. O processamento do material semissólido pode competir com os processos de fabricação convencional, apresentando vantagens sob a forma de alta produtividade, maior rendimento energético e aumento da vida útil das matrizes. Com relação ao produto final, esse processo possibilita a fabricação de peças com geometria mais complexas melhorando a qualidade de processos complementares tais como, a usinagem e a soldagem.

Uma das limitações desse processo é a necessidade de um controle mais preciso durante toda sua operação que acarreta em variações da microestrutura, sensível à temperatura e a resistência mecânica da peça final que ainda não teve sua caracterização mecânica completamente explorada. Por essa razão a simulação desse processo ainda necessita de um estudo mais aprofundado. Diante do exposto, este trabalho visa avaliar a influência do processo de fabricação da matéria prima da liga AA2024 na resistência à compressão de amostras preparadas por fundição convencional e por tixoconformação e a comparação dos testes mecânicos com os resultados obtidos pela análise numérica por elementos finitos, buscando comprovar que o processo de tixoconformação se destaca entre os processos convencionais.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Planejamento Experimental

O planejamento experimental foi desenvolvido com o auxílio do *software MINITAB 17*. Optou-se por determinar o número de amostras a serem testados o teste T de *Student*. Esse método foi selecionado pelo fato do material apresentar escassez de informações de referência. No método que se baseia em conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula, os resultados obtidos indicam se a diferença entre os valores da média da população e da média das amostras é estatisticamente significativa. Foram realizados testes com o objetivo da obtenção de valores de média amostral para o processo de cálculo estatístico.

A determinação e a escolha dos corpos de prova ocorreram seguindo o método aleatório na escolha das amostras. Desse modo, 10 corpos de prova foram testados aleatoriamente sendo identificados após os resultados. O intervalo de tolerância escolhido para cada grupo de amostras foi determinado utilizando como parâmetro o desvio padrão calculado no teste de compressão específico para cada condição do material. O critério de rejeição do teste (nível  $\alpha$ ) utilizou o erro (Tipo I) aceitando o valor se a hipótese ( $H_0$ ) fosse verdadeira e rejeitando os resultados caso a hipótese fosse falsa.

No cálculo, a rejeição foi indicada se o valor da média amostral fosse maior que o valor da média da população ( $H_a: \mu < \mu_0$ ). A partir do cálculo foi possível determinar o intervalo de confiança do ensaio. Isso foi determinado para comparar os resultados de diferentes materiais obtidos através da realização do teste de compressão conseguindo uma confiabilidade estatística dos resultados.

### 2.2. Liga utilizada

O material utilizado como referência para este trabalho foi a liga AA2024 (ISO AlCu<sub>4</sub>Mg<sub>1</sub>) que é uma liga de alumínio contendo cobre, magnésio, manganês e alguns elementos de liga em menor quantidade. O material possui como características principais a baixa densidade e resistência mecânica relativamente elevada tendo sua composição química definida pela norma ASTM B209-14. Para verificação dos valores foi determinada sua composição através de uma espectrometria de emissão atômica (EEA) e os valores são apresentados na Tab. 1.

**Tabela 1. Composição química da liga AA2024.**

| Elemento       | Al    | Cu      | Mg      | Mn      | Fe   | Si   | Zn   | Ti   | Cr   |
|----------------|-------|---------|---------|---------|------|------|------|------|------|
| ASTM B209-14   | *     | 3,8-4,9 | 1,2-1,8 | 0,3-0,9 | 0,5  | 0,5  | 0,25 | 0,15 | 0,10 |
| Espectrometria | 92,74 | 4,54    | 1,48    | 0,62    | 0,28 | 0,08 | 0,20 | 0,02 | 0,02 |

\* Corresponde ao restante da porcentagem em Alumínio puro

### 2.3. Análise da tixoabilidade da liga AA2024

O controle do processamento de materiais no estado semissólido depende de sua tixoabilidade, que consiste na capacidade de se controlar as frações sólida e líquida da pasta tixotrópica, durante a fabricação das amostras (Gatamorta, 2009).

A identificação das temperaturas de trabalho da liga se iniciou com a obtenção de uma curva de resfriamento simples. Para obtenção da curva o material foi fundido em um cadinho de carbetto de silício, inserido no interior de um forno tipo mufla. Após a fusão do material o forno foi desligado e o material foi mantido no forno até sua completa solidificação. O procedimento foi controlado e monitorado por um termopar ligado a um sistema de aquisição. A partir da curva de resfriamento obtida foi possível estimar as Temperaturas *Sólidas* e Temperatura *Liquidus* da liga utilizada através dos pontos de inflexão na curva obtida. Para complementar o estudo da tixoabilidade desta liga, foi realizada uma simulação termodinâmica através do *software* comercial *Thermocalc*<sup>®</sup>. A simulação termodinâmica forneceu como resultado uma curva de variação de fração líquida em função da temperatura

### 2.4. Produção do material fundido

Para a produção dos corpos de prova do material fundido foram confeccionados moldes metálicos (lingoteiras) de aço 1045. Inicialmente as lingoteiras e os tarugos de alumínio foram aquecidos em uma estufa a uma temperatura de 250°C para retirada total de umidade que pudesse apresentar risco de acidentes durante o vazamento. Em seguida os tarugos foram colocados no interior de um cadinho de carbetto de silício e levados a um forno com temperatura de 720°C, ou seja, com um superaquecimento de aproximadamente 40°C da temperatura de fusão, permanecendo no interior do forno até que atingisse o estado líquido.

Após a fusão do material, as lingoteiras foram retiradas da estufa e posicionadas em uma caixa de areia para a realização do vazamento. No procedimento de vazamento houve o cuidado de retirar a camada de óxido formada na superfície do material líquido antes que ocorresse o vazamento visto na Fig. 1. O material fundido permaneceu dentro

das lingoteiras resfriando em temperatura ambiente até a desmoldagem. Em seguida a etapa de desmoldagem, o material fundido foi identificado e posteriormente retiraram-se amostras para análise microestrutural.



**Figura 1. Etapa de vazamento no processo de fundição da liga AA2024.**

## 2.5. Produção do material tixoconformado

Os corpos de prova do material tixoconformado foram produzidos a partir de uma prensa pneumática compostos de um sistema de matrizes associadas a placas flutuantes. No processo o material foi pré-aquecido no interior da matriz até a temperatura de tixoconformação sendo posteriormente processada na prensa. A temperatura utilizada nesse processo foi de  $620^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  que corresponde a uma fração líquida entre 45-50%, essa temperatura foi monitorada com o auxílio de um termopar de controle, inserido na liga de alumínio. Para a etapa de desmoldagem, a matriz foi mantida em resfriamento ao ar até a temperatura de  $350^{\circ}\text{C}$  e posteriormente resfriado em água. Após o resfriamento o lingote tixoconformado foi retirado de seu interior e identificado para posterior análise microestrutural. A Fig. 2 mostra o lingote obtido no processo de tixoforjamento.



**Figura 2. Lingote da liga AA2024 obtido através do processo de tixoforjamento.**

## 2.6. Caracterização metalúrgica

A metalografia tem por finalidade analisar os materiais em sua microestrutura, relacionando pontos observados com suas propriedades físicas e mecânicas, tornando possível assim prever os resultados em sua aplicação (Colpaert, 2008). Para a análise metalográfica convencional as amostras passaram por etapas de preparação pré-determinadas. A observação das microestruturas foi feita utilizando microscópio ótico modelo *NEOPHOT 55* e as imagens digitalizadas por meio do software *LEICA Q500MC*.

Inicialmente as amostras foram embutidas em baquelite e em seguida lixadas (220, 400, 600, 1200 e 1500 mesh) e polidas com alumina em suspensão (1 e  $0,25\mu\text{m}$ ). Para a medida de tamanho de grão ASTM, as amostras passaram por ataque eletrolítico (ácido Fluorbórico –  $\text{HBF}_4$ ). A obtenção das imagens foi feita através de microscópio com filtros polarizadores e a partir das micrografias coloridas foi realizada a contagem do tamanho de grãos/glóbulo conforme norma ASTM E112-13.

Foram traçadas linhas retas sobre a imagem obedecendo aos ângulos  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  e  $90^{\circ}$  com comprimento determinado. Com as linhas sobre a imagem, contou-se a quantidade de glóbulos ou de grãos interceptados pela linha e determinados

os valores a partir da média correspondente ao tamanho da linha traçada (relativa ao aumento discriminado na micrografia). Para a determinação dos cálculos foi utilizado o *software Excel 2013* para equacionamento dos valores obtidos nas medições. Utilizou-se 8 imagens para o cálculo dos tamanhos médios de glóbulos e de grãos. Selecionou-se cinco campos aleatórios em cada uma das 8 imagens selecionadas, totalizando 40 medidas triplas, com um total de 120 medidas aleatórias.

A principal vantagem do método de intercessões é quanto ao tempo gasto no tratamento das imagens. Ao segmentar a imagem não há a necessidade de se definir com precisão os limites do grão, basta segmentar a maior parte do contorno de grão (Lima, 2007).

## 2.7. Ensaio de compressão

Para a caracterização mecânica dos materiais foram realizados ensaios de compressão normalizados, utilizando uma máquina universal eletromecânica e microprocessada. Para a realização dos ensaios, a sala de teste foi mantida em temperatura entre 21°C a 22°C e umidade relativa do ar de 55%. Realizou-se testes com os corpos de prova de acordo com a norma de ensaio padrão ASTM E9-89A. A velocidade utilizada para este ensaio foi de 5mm/s (sentido do ensaio – descida), com limite de força 100 KN e a redução dos corpos de prova foi de 40%. Os corpos de prova utilizados nos testes foram confeccionados de acordo com a norma ASTM E209-00(2010). Após o teste os corpos de prova foram devidamente identificados e os resultados tratados com o auxílio do *software Origin8®*.

## 2.8. Modelagem via *Forge 2008*

A simulação numérica foi realizada para a verificação dos valores de resistência à compressão da liga. Para simular o ensaio de compressão gerou-se geometrias tridimensionais das ferramentas e do tarugo no *software CAD SolidEdge V17*, que além de gerar modelos sólidos, permite a transferência das características superficiais desses modelos para a entrada de dados no *software* comercial de simulação pelo método de elementos finitos *Forge 2008*. Os parâmetros de entrada utilizados na simulação numérica foram definidos a partir dos parâmetros utilizados nos testes experimentais e encontram-se na Tab. 2.

O coeficiente de atrito igual a 0,8 foi escolhido por representar a condição sem lubrificação. Utilizou-se o coeficiente de troca de calor e a velocidade da prensa para representar a condição que ocorreu no ensaio experimental. Estas condições estão disponíveis no banco de dados do *software* de simulação. Para simulação, utilizaram-se as mesmas medidas do corpo de prova real (20 mm de altura e 10 mm de diâmetro), a quantidade de elementos finitos foi 56576 e a quantidade de nós 11777. Destaca-se que as ferramentas são apenas superfícies de trabalho e, portanto, o tamanho do elemento usado no pré-processamento para a simulação não foi considerado nas simulações.

**Tabela 2. Valores utilizados como parâmetros na simulação realizada através do *software Forge*.**

| Variável de entrada                                             |                                              |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Material do tarugo                                              | Al Cu4Mg1                                    |
| Temperatura inicial do tarugo                                   | 21°C                                         |
| Temperatura inicial das ferramentas                             | 21°C                                         |
| Atrito na interface peça x ferramentas (coeficiente de Coulomb) | 0,8                                          |
| Coeficiente de troca de calor entre a peça x ferramentas        | $2 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ |
| Tipo de elemento utilizado nas ferramentas                      | Triangular                                   |
| Tipo de prensa                                                  | Hidráulica                                   |
| Velocidade de Forjamento                                        | 5 mm/s                                       |

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos a partir das avaliações de tixotabilidade utilizaram duas técnicas distintas: a curva de resfriamento simples e a simulação termodinâmica. Os resultados obtidos nas duas técnicas avaliadas são apresentados de forma conjunta sob a forma gráfica.

A Fig. 3 apresenta a curva de resfriamento simples e a simulação termodinâmica realizada através do *software Thermocalc®*, que mostra em 3.a) uma curva que apresenta inflexões que ocorrem quando a liga inicia a mudança de estado. A transformação principal no resfriamento é a formação da fase  $\alpha$  a partir do líquido e se inicia a 638°C (Temperatura *liquidus*) com final de transformação na temperatura de 502°C (Temperatura *sólida*). Esses valores experimentais definem os intervalos de semissólidos, mas não podem ser utilizadas para a definição das frações líquidas uma vez que a variação das frações não ocorre de forma linear para a liga.

A simulação termodinâmica em b), mostra um intervalo de solidificação da ordem de 136 graus e diversas regiões com a presença de transformações de fases em função da composição da liga. Observa-se a formação das fases  $Al_6Mn$  (indicada pelo número 3, a  $590^{\circ}C$ ),  $Al_7Cu_2Fe$  (número 4, a  $558^{\circ}C$ ) e  $Al_2Cu$  (número 5, a  $530^{\circ}C$ ), que ocorrem durante o aquecimento. A presença destas fases provavelmente não é significativa na solidificação porque a maior parte do sistema é formada de líquido e fase  $\alpha$ .

As fases observadas no diagrama não são significativas na tixoconformação podendo interferir apenas nas temperaturas de processo (Cristofolini, 2009).

Os valores de temperatura podem ser também indicados pelo diagrama de fases das ligas binárias Al-Cu. Este elevado valor de intervalo de coexistência de fases sólida e líquida é um dos requisitos para a candidatura da liga ao tixoprocessamento.

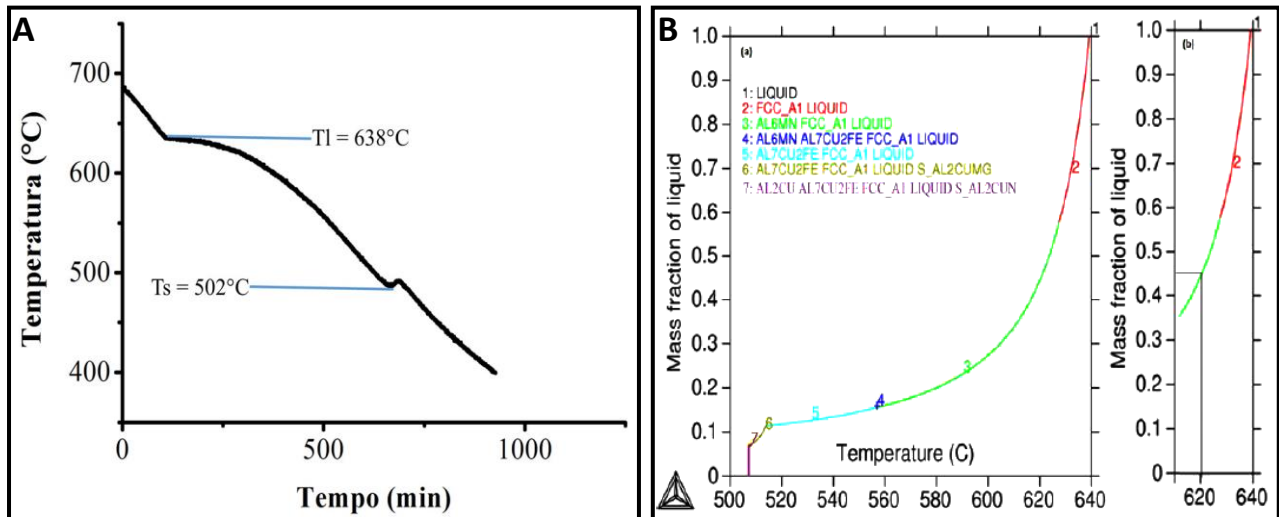


Figura 3. Resultados da tixabilidade da liga AA2024 a) Curva de resfriamento simples ( $T \times t$ ); b) Curva de evolução da fração líquida em função da temperatura.

A caracterização metalúrgica aborda aspectos da morfologia e do tamanho de grão nas amostras analisadas. Para a análise microestrutural foram avaliadas inicialmente imagens de microscopia obtidas por metalografia convencional. A análise microestrutural das amostras pode ser observada na Fig. 4.

Na amostra fundida, vista em 4a, é possível verificar uma morfologia de grãos de pequenos tamanhos com formato regular e uma incidência de geometria de rosetas com presença do eutético ao longo do contorno de grão. O material tixoconformado a partir da matéria prima laminada em 4b, apresenta grãos maiores e mais espaçados entre si com um contorno de grão também eutético. Esse aumento dos grãos no material tixoconformado é ocasionado devido ao tempo e temperatura do processo. É possível observar nas imagens alguns grãos globularizados.

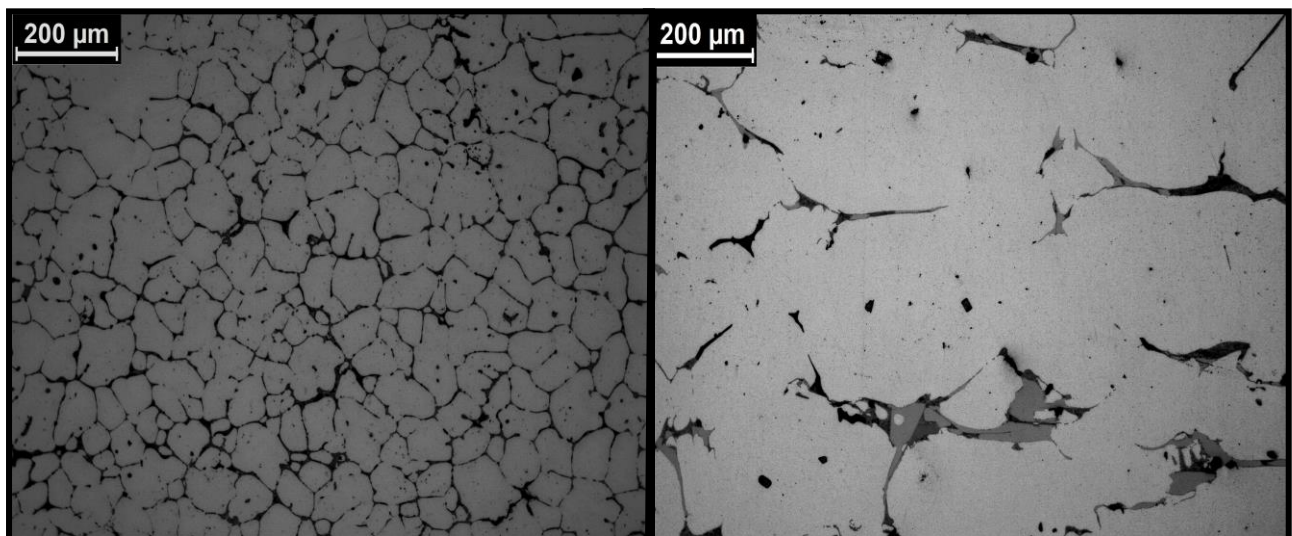
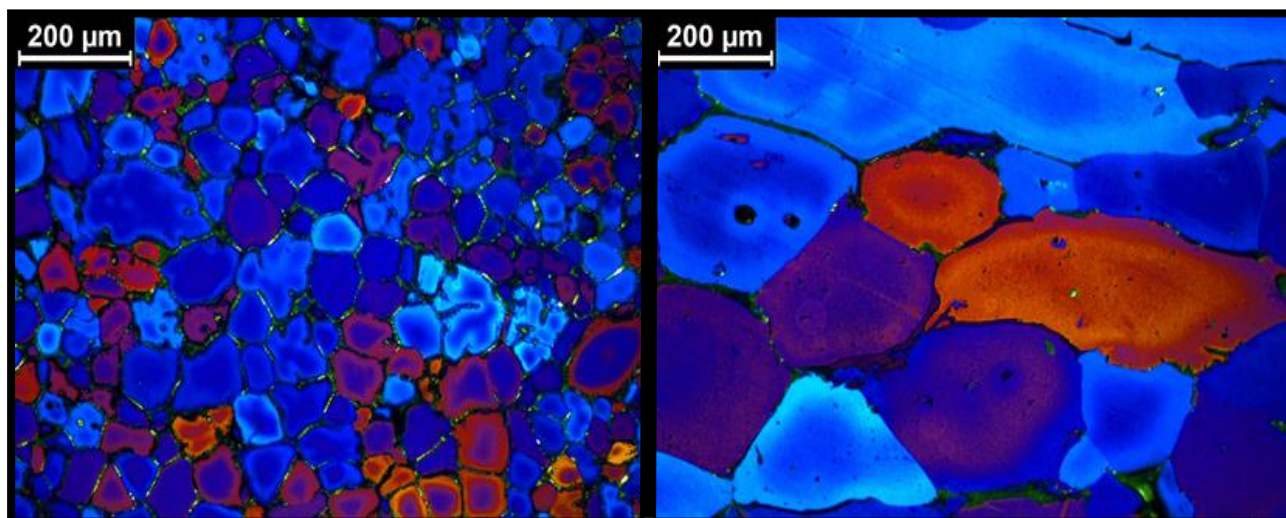


Figura 4. Micrografias da liga AA2024 obtidos nas condições: a) amostra fundida; b) amostra tixoconformada.

As medidas de tamanho de grão e a morfologia caracterizadas morfológicas dos glóbulos tem ligação direta com os valores de propriedade mecânica. As medidas de tamanho de grão e glóbulo ASTM foram obtidas através do método dos interceptos. Para realizar as medidas as amostras passaram por um processo de preparação por micrografias de luz polarizada. As imagens obtidas podem ser observadas na Fig. 5a.



**Figura 5. Micrografias da liga AA2024 obtidas por luz polarizada: a) amostra fundida; b) amostra tixoconformada.**

A Tab. 3 apresenta os valores médios calculados com suas medidas de variância em cada grupo que foi comparado através da análise do teste ANOVA. A análise mostrou uma forte correlação entre as características da matéria prima e do produto final no processo de tixoconformação.

**Tabela 3. Valores de tamanho de grão e glóbulo e relação grão/glóbulo ASTM obtidos.**

| Liga AA2024    |                      |                         |                 |
|----------------|----------------------|-------------------------|-----------------|
|                | Tamanho de grão (µm) | Tamanho de glóbulo (µm) | Grão/glóbulo    |
| Fundida        | $81 \pm 6,1$         | $54 \pm 3,7$            | $1,50 \pm 0,07$ |
| Tixoconformada | $171 \pm 15,5$       | $158 \pm 15,0$          | $1,09 \pm 0,04$ |

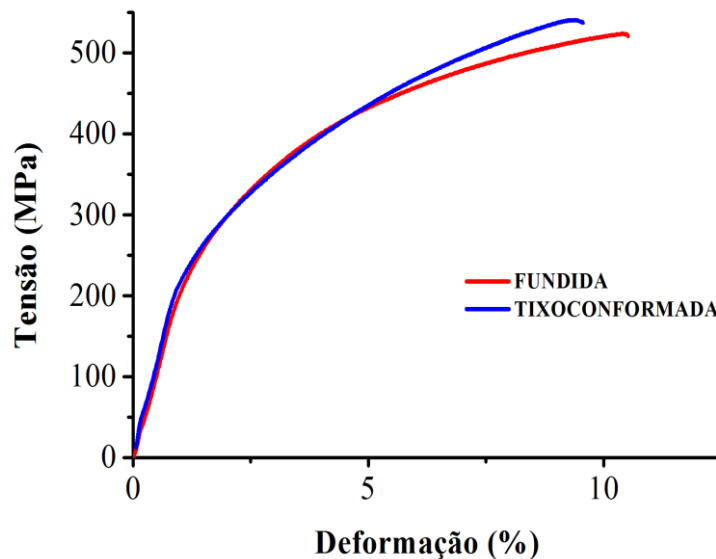
Para a obtenção dos resultados de valores de propriedade mecânica foi estabelecido um intervalo de confiança de 80% para todos os processos. Para que o valor do intervalo de confiança fosse mantido em todas as condições foi recalculada a tolerância para cada material testado.

A Tab. 4 apresenta os resultados das médias obtidas nos ensaios de tensão de compressão versus deformações, realizadas nas amostras obtidas nas condições fundidas e tixoconformada. Os resultados mostram que tanto os valores de tensão máxima quanto de deformação máxima apresentam valores estatisticamente semelhantes.

**Tabela 4. Valores de Tensão e Deformação máximos encontrados para a Liga AA2024 nos ensaios.**

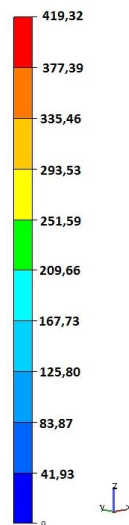
| Amostra            | Tensão Máxima Compressão (Mpa) | Deformação Máxima Compressão (%) |
|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Fundida            | $524 \pm 18,8$                 | $11,2 \pm 0,65$                  |
| Tixoconformada     | $541 \pm 48,5$                 | $12,6 \pm 1,50$                  |
| Simulação numérica | 419                            | -----                            |

A Fig. 6 mostra os resultados dos valores médios obtidos nos diferentes processos demonstrando que, nos dois casos, os valores são semelhantes. Esses valores quando comparados aos valores da simulação apresentam valores de tensão máxima superiores aos encontrados na simulação.



**Figura 6. Resultados das médias obtidas nos ensaios de tensão de compressão versus deformação realizada nas amostras obtidas por fundição e por tixoconformação da liga AA2024.**

A Fig. 7 apresenta o perfil de distribuição das tensões ao longo do corpo de prova comprimido. O resultado da simulação mostrou que a tensão máxima apresentada em torno de 419 MPa é bastante próxima da tensão máxima apresentada pela liga fundida e tixoconformada. Como se pode notar, as maiores tensões encontram-se na região do abaulamento tornando essa zona favorável ao aparecimento de fratura.



**Figura 7. Perfil de distribuição da tensão obtidos no corpo de prova realizada pelo software *Forge* no corpo de prova na simulação numérica.**

A partir dos resultados experimentais obtidos foi possível determinar uma confiabilidade dos resultados de 80%. Esses valores permitem que os resultados entre os testes de compressão possam ser comparados com segurança e a Fig. 8 e 9 mostram que os valores obtidos das médias estão menores que o valor de referência H0 e a frequência com que cada média aparece.

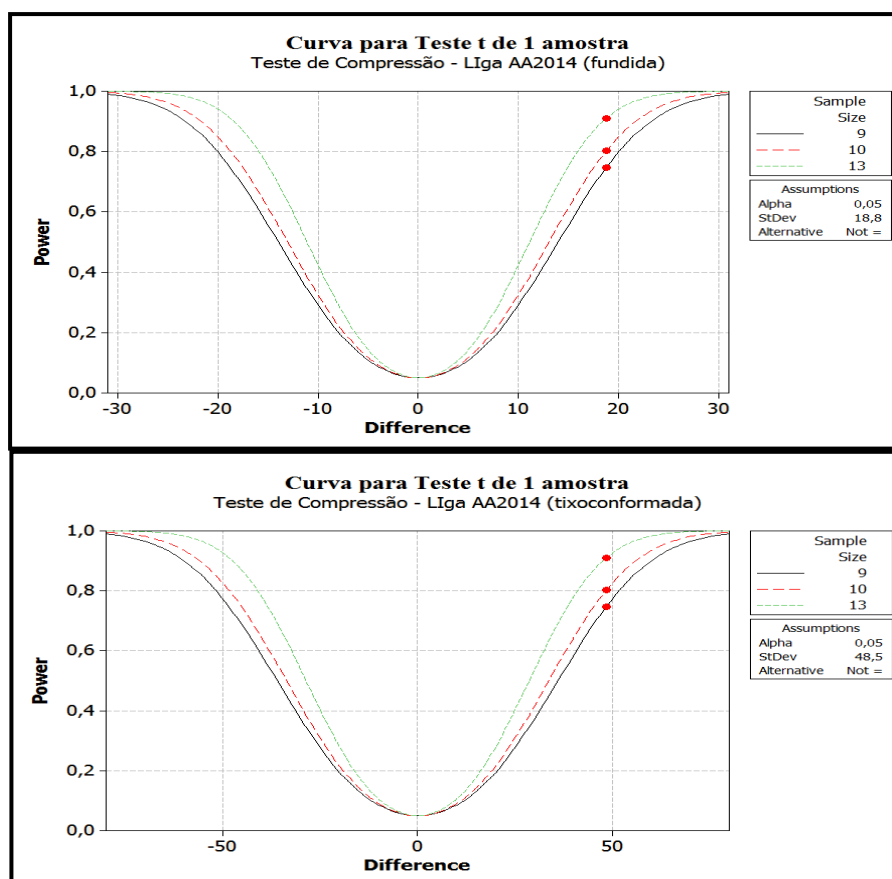


Figura 8. Análise dos dados dentro do intervalo de confiança e tamanho da amostra.

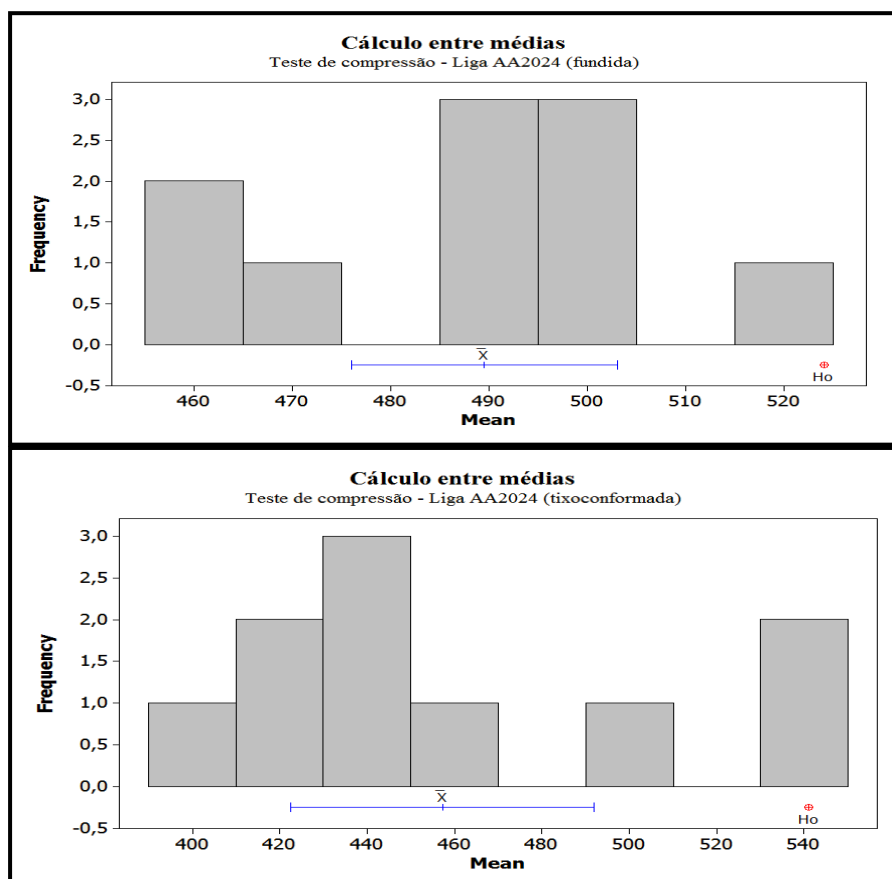


Figura 9. Análise de simulação com os resultados obtidos para o cálculo entre médias.

Após as tabelas serem tratadas, foram extraídos os reais resultados de propriedades mecânicas apresentando os valores encontrados no ensaio de compressão para a liga AA2024 nas condições de estudo. As comparações entre os valores físicos e da simulação revelam uma correspondência direta entre eles.

Analisando os resultados pode ser observado que os valores de tensão máxima e de deformação encontrados para o material fundido e o tixoconformado são estatisticamente semelhantes dentro dos intervalos de tolerância. É possível observar também na análise comparativa, uma tendência de obtenção de maiores valores para o material tixoconformado. Os valores encontrados conferem uma compatibilidade entre os de simulação numérica e o experimental, aferindo as vantagens do processo de tixoconformação na comparação com o de fundição convencional.

#### 4. CONCLUSÃO

Foi possível observar que os valores de propriedades mecânicas e de deformação obtidos são semelhantes nas duas condições analisadas. Os valores de resistência mecânica são estatisticamente iguais e os valores de deformações são maiores no material tixoconformado quando comparados ao fundido. A comparação entre o tamanho de grão ASTM nos processos mostrou que o material fundido é o que apresenta menor tamanho de grão com valores 47% menores que o tixoconformado. Ressalta-se que a relação grão/glóbulo da liga fundida está bem acima de 1,0, denotando um esqueleto dendrítico de proporções relevantes. Nas ligas tixoconformadas os valores da relação grão/glóbulo são próximos a 1,0. Essas características inferem ao processo de tixoforjamento um caráter promissor, pois o processo tixotrópico mostrou correlação entre a microestrutura da matéria prima e no produto final. Desse modo um controle maior da matéria prima tem ligação direta com as propriedades finais do produto, aferindo ao processo uma alternativa viável ao processo de fundição na fabricação de produtos de geometrias complexas.

Os resultados da simulação numérica mostram que os valores encontrados são semelhantes aos experimentais nos dois casos estudados, permitindo o uso de métodos de simulação para previsão dos produtos reduzindo os custos de projeto.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Universidade Paulista - UNIP, pelo apoio institucional e apoio acadêmico, à Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP pelo suporte técnico nos experimentos e análises e à empresa Mahle Metal Leve S.A pela parceria na disponibilidade dos equipamentos para a realização desse trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ASM Handbook; Properties and selection: nonferrous alloys and pure metals. The Ninth Edition of Metals Handbook, v. 2, 1985.
- ASTM E209-00(2010), Standard Practice for Compression Tests of Metallic Materials at Elevated Temperatures with Conventional or Rapid Heating Rates and Strain Rates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010
- ASTM E9-89(1995), Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000
- ASTM E112-13, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013
- ASTM B209-14, Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014
- Colpaert, Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2008.
- Devore, J. L. – Probabilidade e Estatística Engenharia e Ciências, 6ª edição, São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.
- Cristofolini, R. Estudo da Potencialidade da Aplicação do Ferro Fundido Nodular ASTM A536 60-40-18 como Matéria Prima para Processos de Tixoconformação, 2009 181f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Gatamorta, F. Obtenção de espumas sintáticas da liga AA2011 a partir do metal no estado semissólido e sua caracterização metalúrgica. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas; Campinas, 2009.
- Lima, L. I. L Metodologia para avaliação da corrosão da zona termicamente afetada de aço inoxidável ferrítico AISI 439 soldado. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais; Belo Horizonte, 2007.
- Montgomery, D. C.; Runger, G.C.; Hubele, N.F. – Estatística Aplicada à Engenharia, 2ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- Spencer, D.B.; Mehrabian, R.; Flemings, M.C. Rheological Behaviour of Sn15% Pat Pb in the Crystallisation Range. Metallurgical Transaction A, v.3, 1972.

#### 7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

## MANUFACTURING PROCESS OF INFLUENCE ON MECHANICAL BEHAVIOUR LEAGUE AA2024

Vivian Maria Marini, [vivianmarini@hotmail.com](mailto:vivianmarini@hotmail.com)<sup>1</sup>

Fabio Gatamorta, [fabio.gatamorta@gmail.com](mailto:fabio.gatamorta@gmail.com)<sup>1</sup>

Bruna Vilas Bôas, [bruninhavb@yahoo.com.br](mailto:bruninhavb@yahoo.com.br)<sup>1</sup>

Rudimylla da Silva Septímio, [rudi\\_septimio@hotmail.com](mailto:rudi_septimio@hotmail.com)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Paulista, Av. Armando Giassetti, 577 – Vila Hortolândia, Jundiaí – SP, CEP: 13214-525

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleyev, 200 – Cidade Universitária, Campinas – SP, CEP: 13083-860

**Abstract.** Aluminum alloys are frequently used in forming processes due to its high plasticity. In the modeling process the condition of the raw material is critical to the operation and to prevent defects such as cracks or voids in the product. The practice most commonly used for evaluating the raw material is extrapolating the results traction, which can give rise to very significant modeling error. The study aims to evaluate the influence of manufacturing processes in AA2024 alloy, as the compressive strength and its comparison with the results obtained by numerical finite element analysis. Alloy samples were prepared in the molten condition and tixoconformada were characterized metallurgically. The compression results were compared with those found in modeling and showed similarity between them, allowing the use of both methods for the determination of resistance values.

**Keywords:** AA2024, compression, simulation, Thixoforming.