

## **DETERMINAÇÃO DA DUREZA E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA LIGA METÁLICA DE UM COXIM DE CAMBIO AUTOMOTIVO**

Pedro Ângelo Malaquias <sup>1</sup>; Carlos Roberto Ferreira <sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Pedro Ângelo Malaquias, Bolsista CNPq. Graduando em Engenharia Metalúrgica, IFMG Campus Ouro Branco, Ouro Branco - MG; pmalaquias100@gmail.com

<sup>2</sup> Carlos Roberto Ferreira. Pesquisador do IFMG, Campus Ouro Branco; carlos.ferreira@ifmg.edu.br

### **RESUMO**

As ligas de alumínio recebem, especial, atenção devido à sua leveza, reciclabilidade e outros predicados que proporcionam inúmeras propriedades às peças fundidas. Assim sendo, há inúmeras aplicações das ligas de alumínio para produção de peças automotivas. O coxim, um componente automotivo feito em uma liga de alumínio, tem por função absorver as vibrações do câmbio, reduzir o desgaste dos componentes que formam os sistemas de direção e de transmissão veicular e, também, evitar a geração de trincas ou quebras de outras peças de um automóvel e, assim, criar condições para aumentar a vida útil de um veículo automotor. No Brasil diversas empresas fabricam e distribuem autopeças à indústria automotiva, porém a oferta de peças genuínas costuma ser ampla para carros novos, mas esse cenário é diferente e limitado para os modelos mais antigos ou importados. Para esses casos a solução, muitas vezes, é a aquisição de componentes conhecidos como “paralelos”, sobre os quais recai a dúvida quanto à confiabilidade. O objetivo deste trabalho é correlacionar os valores de dureza, de microdureza com a microestrutura observada em um modelo de coxim de um câmbio automotivo fabricado em escala industrial pelo processo de fundição. Assim sendo foram estudados peças, “originais e paralelas”, usadas em um modelo de veículo de fabricação nacional. Para a caracterização dos componentes realizou-se ensaios de dureza Rocwell B, de microdureza Vickers e avaliação microestrutural por microscopia ótica. Considerando, até então, o caráter preliminar do estudo e as limitações intrínsecas das técnicas aplicadas, evidenciou-se que as amostras, 1 e 2, de coxins de cambio automotivo “originais de fábrica”, aqui estudadas, apresentam muitos poros e as respectivas microestruturas são formadas de uma matriz com aspecto dendrítico. Ainda, identificou-se nas amostras, de coxins “originais de fábrica”, a precipitação de fase, secundária, em formato de “escrita chinesa”, característica da fase Mg<sub>2</sub>Si. Nas amostras 3, coxins “originais de fábrica”, 4 e 5 coxins “peças paralelas” observou-se pouca porosidade e microestruturas com aspecto acicular sobre uma matriz equiaxial refinada. Nessas amostras, ainda, foi observado uma segunda fase formada por estruturas aciculares cujo aspecto é característico da presença de do elemento Si responsável pelo comportamento de eutético nas ligas de Al. Em relação à microdureza Vickers, os valores médios medidos nas amostras variaram de 66 HV a 96 HV. Quanto aos valores, médios, dureza Rocwell B, para as amostras 1 e 2, coxins “originais de fábrica”, foram registrados respectivamente 29,88 HRB e 37,70HRB. Nas amostras dos coxins 3, “originais de fábrica”, 4 e 5 “peças paralelas” foram registrados respectivamente, 72,33 HRB, 88,23 HRB e 88 HRB. Mediante aos resultados, iniciais, aqui apresentados acredita-se que a microestrutura identificada e a dureza medida nas amostras 1 e 2 conduzem à ductilidade adequada ao desempenho satisfatório de um coxim de câmbio automotivo.

**PALAVRA CHAVE:** Coxim, liga de alumínio, dureza, microdureza.

## INTRODUÇÃO

As peças automotivas “originais” são desenvolvidas e produzidas pela própria montadora do veículo ou por empresas licenciadas. Esses produtos passam por processos, rigorosos, de auditoria que visam atestar os requisitos de qualidade, das mesmas, antes de enviá-las ao mercado e, assim sendo, a composição química, as microestruturas e as propriedades são idênticas às das peças instaladas nos automóveis “0 km”. Considera-se que peças “originais” possuem todos os requisitos necessários para apresentarem o melhor desempenho e maior durabilidade, sendo assim, o tempo entre uma troca e outra também aumentará.

No Brasil há mais de 80 grandes empresas de fabricação e distribuição de autopeças. São marcas consagradas, como Bosch, Mahle, Cofap, Cummins e ZF Brasil, que vendem seus produtos para as montadoras de veículos e respectivas concessionárias e, também, fora da rede de concessionárias, no mercado “paralelo” (Sindirepa, 2022).

O mercado brasileiro de peças de reposição, “independente”, para carros é um dos maiores do mundo. Somando os valores decorrente da prestação serviços e venda de componentes movimenta bilhões de reais por ano. Existe, também, a comercialização de componentes e autopeças importadas, que se tornaram comuns nos últimos anos e, sem falar nos componentes usados e, aqueles, remanufaturados. Sobre todos, esses, recai dúvidas quanto aos requisitos de qualidade, durabilidade e segurança (Portal autopapo, 2022). Assim sendo o presente estudo se justifica pela necessidade de se conhecer os requisitos, mínimos, que conduzam ao melhor desempenho, a maior durabilidade e permitam a aquisição de componentes automotivos com comprovação de “qualidade”, perspectiva de maior vida útil e segurança.

Coxim do câmbio, como ilustrado na Figura 1, é uma peça fundamental para o bom funcionamento de um veículo. Tem a função de absorção de vibração e evitar trincas ou quebras das partes que compõe os sistemas de direção e de transmissão de um veículo automotor possibilitando maior vida útil do carro. (reviewauto, 2022).



Figura 1 – Modelos, diversos, de coxins de câmbio; (a) componente usado em veículo “popular - U” fabricado entre 1986-2001, b) componente usado em veículo “popular MF”:1.0 1.3 1.4 fabricado entre -2001-2010, c) componente usado em veículo “popular - UVV” fabricado entre 2010 a 2016, d) componente usado em veículos LL, Sin“sedan médio” fabricado entre 2010 a 2016, e) componente usado em veículos Cbt, Onx, Prsm, Snc e Spn fabricados entre 2014 e 2021.

O primeiro sinal de que o coxim sofreu algum dano é o aumento do barulho e da trepidação do carro e, em algumas condições, haverá dificuldades para engatar a marcha no veículo. Quando tais características são percebidas a peça precisa ser trocada imediatamente, pois já está avariada.

Alumínio é o metal, não ferroso, mais produzido e consumido no planeta sendo que suas ligas são usadas em vasta gama de aplicações que vão desde o emprego estético a aplicações de engenharia que necessitem de leveza, conformabilidade, resistência mecânica específica, baixa retração térmica e bom acabamento superficial tornando-as como boa alternativa aos processos de fundição (ABAL;2022, Aluminum Association;2022).

Em termos de nomenclatura, no quadro 1 é apresentado uma classificação para as, diversas, ligas de alumínio (Aluminum Association, 2022).

Quadro 1- Série de ligas de alumínio em conformidade com a Associação Americana do Alumínio (Aluminum Association, 2022).

<b>1XX.X</b>	<b>Alumínio comercialmente puro</b> (>99.0 %). Usado principalmente em indústria elétrica e química.
<b>2XX.X</b>	<b>Ligas Al - Cu.</b> Ligas com o Cu como principal elemento de liga, contendo outros elementos como o Mg Usadas principalmente em indústria aeronáutica.
<b>3XX.X</b>	<b>Ligas Al - Si - Mg/Cu.</b> Ligas com o Mn como principal elemento de liga. Usadas em aplicações arquitetônicas.
<b>4XX.X</b>	<b>Ligas Al - Si.</b> Ligas com o Si como principal elemento de liga. Usadas em varetas de solda e chapas de brasagem.
<b>5XX.X</b>	<b>Ligas Al - Mg.</b> Ligas com o Mg como principal elemento de liga. Usadas em materiais expostos ao ambiente marinho.
<b>6XX.X</b>	<b>Ligas Al - Mg -Si.</b> Ligas com o Mg e o Si como principais elementos de liga. Usadas em produtos extrudados na construção civil.
<b>7XX.X</b>	<b>Ligas Al- Zn.</b> Ligas com o Zn como principal elemento de liga, podendo conter outros elementos como o Cu, Mg, Cr e Zr. Usadas em estruturas de aeronaves e outras aplicações de alta resistência mecânica.
<b>8XX.X</b>	<b>Ligas Al - Sn.</b> Ligas com Sn e Li para aplicações diversas.
<b>9XX.X</b>	Al e outros elementos.

## METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu na seleção e aquisição de 05 coxins de câmbio automotivo, de um mesmo modelo de veículo, sendo 03 “peças originais” e outros 02 produzidos por um mesmo fabricante e comercializado como peça “paralela”.

- ✓ Para obtenção dos corpos de provas necessários aos testes de microdureza e avaliação metalografia as amostras, de cada coxim “original e paralelo”, foram cortadas sob refrigeração e na dimensão 15x15x10mm;
- ✓ Fez-se o embutimento das amostras, em resina, e posterior etapas de lixamento manual (lixa 100 até a lixa grão 2400);
- ✓ O polimento foi realizado mediante uso de solução contendo alumina (6,0 e 3,0 $\mu$ m) e uso de pasta de diamante com granulometria de 1,0 e 0,5  $\mu$ m;
- ✓ Para os testes de dureza Rockwell, B, foram produzidos, em tréplicas, corpos de provas de 3 cm x 3 cm sendo, esses, submetidos às etapas de lixamento manual (lixa 100 até a lixa grão 2400). NBR-6671 – ABNT;
- ✓ Para os testes de microdureza, segundo a Norma NBR ISO 6507-1 –ABNT, foi utilizado o microdurômetro Vickers da marca Digimess existente no Laboratório de Ensaios Físicos do Curso de Engenharia Metalúrgica do IFMG – Campus Ouro Branco. A carga aplicada foi de 300 gf por um tempo de impressão de 15 s;
- ✓ Para a avaliação metalográfica as amostras, de liga Al, foram atacadas com o reagente de Keller: 1 ml de HF, 15ml de HCl, 25 ml de HNO<sub>3</sub> e 50 ml de H<sub>2</sub>O segundo a Norma ASTM E 3-11. A obtenção de imagens foi realizada com um microscópio ótico Carl Zeiss existente no Laboratório de Ensaios Físicos do Departamento de Engenharia Metalúrgica do UFOP.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 (a, b e c) e 3 (a, b e c) são apresentadas, respectivamente, micrografias, óticas, das amostras, 1 e 2, de coxins de câmbio automotivo comercializados como “peças originais de fábrica”. Nessas, observa-se áreas claras formadas, provavelmente, de uma matriz Al com aspecto dendrítico (prováveis dendritas primárias de Al). Há também regiões equiaxiais, de tamanho irregular, com inúmeros fragmentos de dendritas e, essas, formam regiões compostas de lamelas em rede descontínua e não paralelas de prováveis cristais de Al (YUAN; ZHANG; LOU, 2003, p. 774-780.).

Em ambas amostras, 1 e 2, vista nas figuras 3 e 4, identifica-se a precipitação de fase em formato de “escrita chinesa”. Tal microestrutura é característica da fase Mg<sub>2</sub>Si que se forma em decorrência da adição de Mg

superior a 1% em peso (SJÖLANDER; SEIFEDDINE. 2010, p. 1249-1259). Aqui, pode-se observar tal fase na região central das figuras 2 (a), 2 (c) e, em destaque, na figura na figura 2 (b).

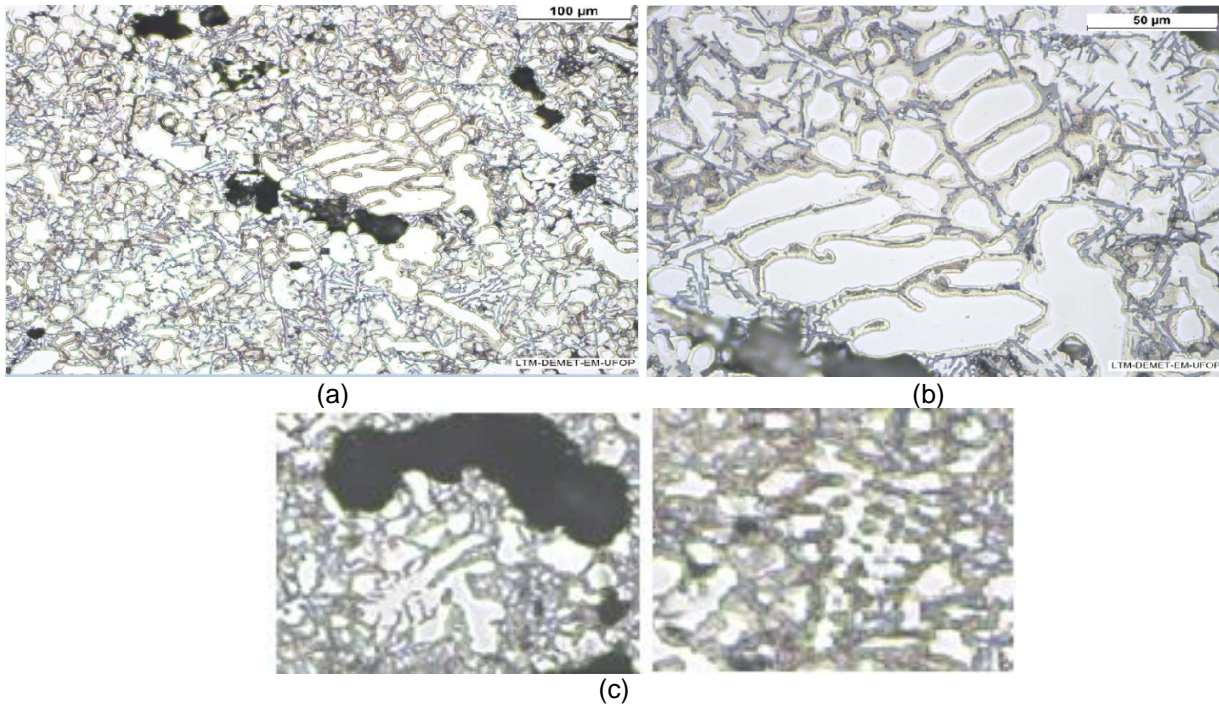


Figura 2 - micrografias, óticas, das amostras, 1, de um coxim de cambio automotivo; (a) aumento de 200x, (b) aumento de 500 x e (c) detalhe apresentando a “escrita chinesa”.

Nas figuras 3 (a) e 3 (b) também se identifica a precipitação de fase em formato de “escrita chinesa”, cuja fase, em destaque, pode ser observada na figura 3 (c).

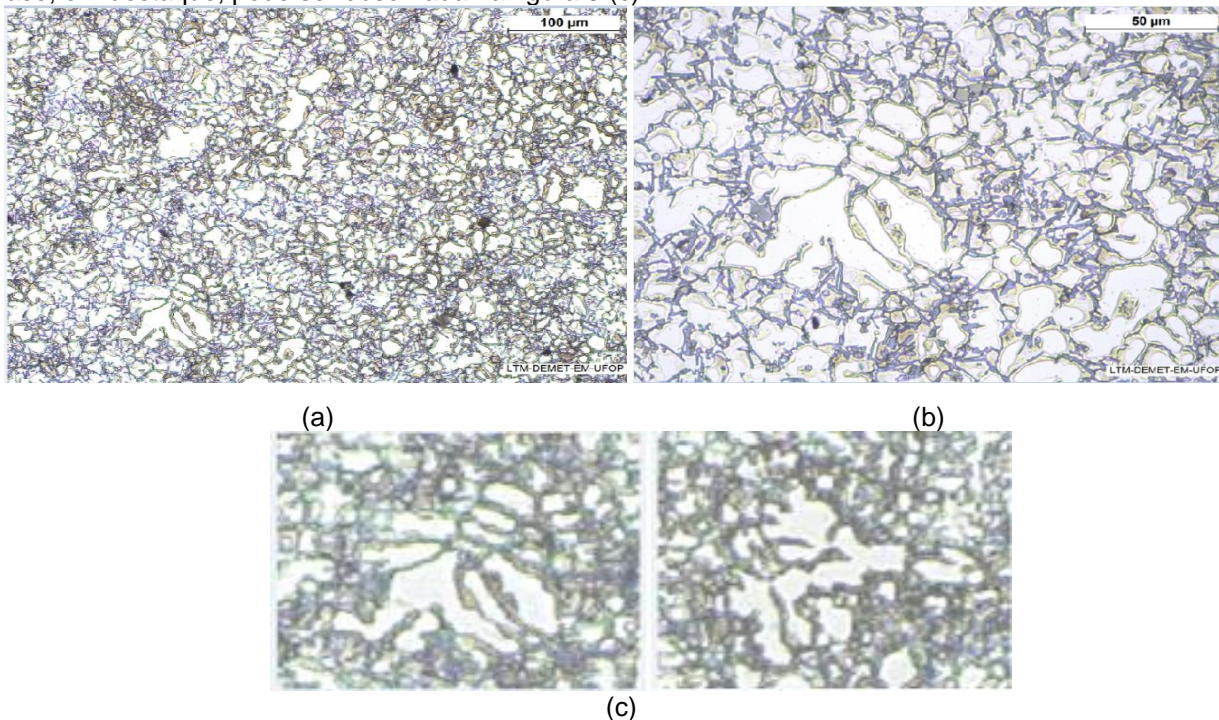


Figura 3 - micrografias, óticas, das amostras 2, de um coxim de cambio automotivo; (a) aumento de 200x, (b) aumento de 500 x e (c) detalhe apresentando a “escrita chinesa”.

Ambas amostras, 1 e 2, apresentam elevado nível de porosidade sendo que, na amostra 1, os poros observados se apresentam com formato irregular e maiores tamanhos. A amostra 2 apresenta poros em

menor quantidade e menor dimensão. A porosidade tem como origem principal o aprisionamento de gases durante a etapa de solidificação.

As amostras 3, 4 e 5, respectivamente, mostradas nas figuras 3, 4 e 5, apresentam microestruturas com aspecto acicular sobre uma matriz, área clara, de Al, equiaxial e refinada. Tal refinamento da matriz, provavelmente, foi obtido em função de uma maior velocidade de resfriamento decorrente do uso de moldes metálicos para solidificação das peças.

Uma observação se faz pelo fato de que a amostra 3, mostrada na figura 4, trata-se de uma peça comercializada como “produto original de fábrica” e, essa apresenta uma microestrutura composta de uma, provável, matriz de Al, áreas claras, equiaxiais e outras áreas apresentando núcleos aciculares. Ainda, tal observação, leva à suposição de que há, em função de fabricante, a aplicação de métodos diversos para fabricação do componente automotivo em estudo.

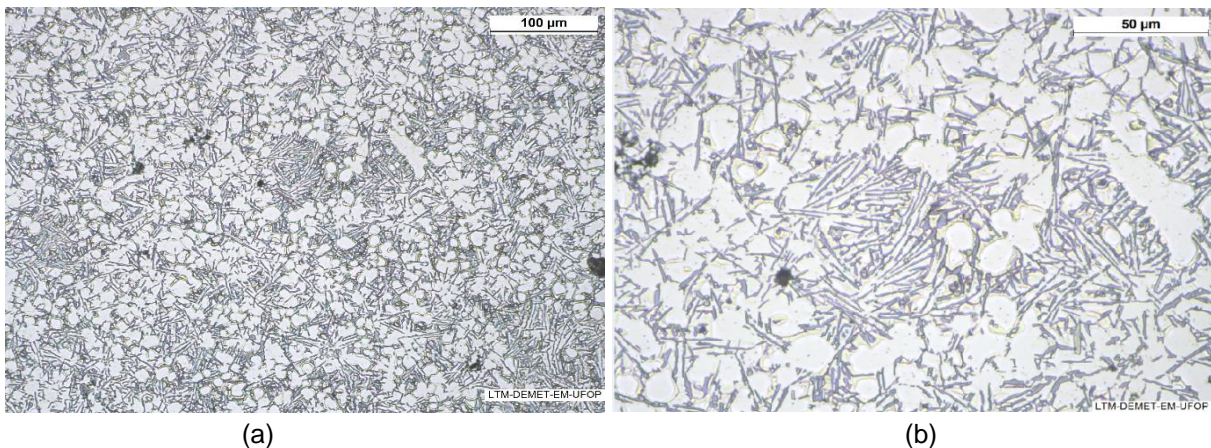


Figura 4 - micrografias, óticas, das amostras, 3, de um coxim de cambio automotivo; (a) aumento de 200x e (b) aumento de 500x.

A estrutura acicular observada nas micrografias, figuras 3, 4, e 5, é um aspecto característico da presença de Si, elemento formado de eutético nas ligas de Al, na composição da química da liga. A morfologia acicular diminui a ductilidade das ligas de Al.

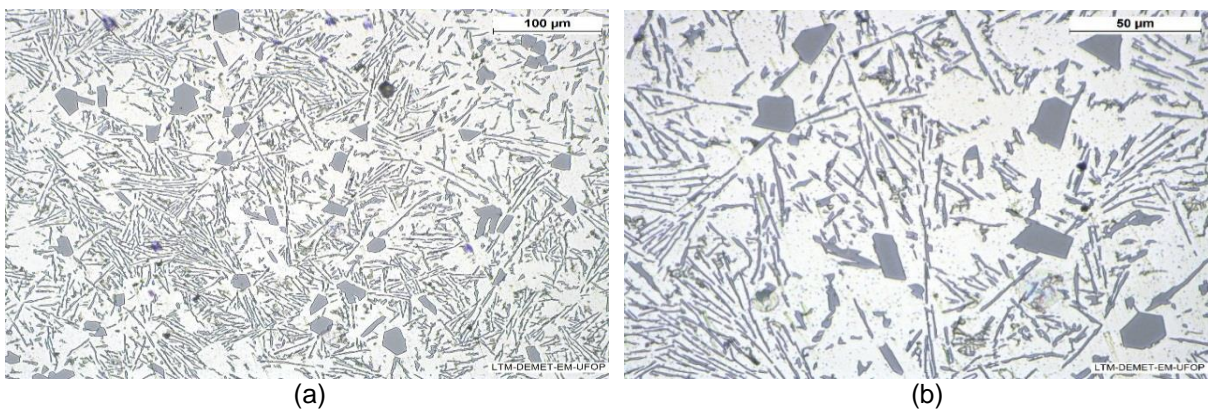


Figura 5 - micrografias, óticas, das amostras, 4, de um coxim de cambio automotivo; (a) aumento de 200x e (b) aumento de 500x.

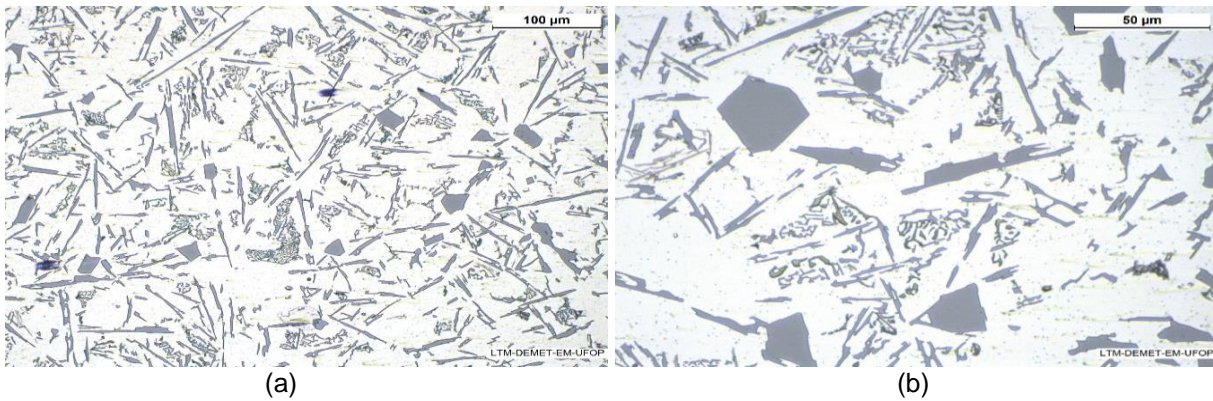


Figura 6 - micrografias, óticas, das amostras, 5, de um coxim de cambio automotivo; (a) aumento de 200x e (b) aumento de 500x.

Ainda, nas micrografias apresentadas nas figuras 4, 5 e 6 observa-se pouca quantidade de poros e, esses, se apresentam com pequena dimensão e formato esférico.

A figura 7 (a) apresenta os valores de microdureza na escala Vickers sob aplicação de carga de 300 gf e dureza Rockwell B. Foram realizados, para cada amostra, 03 indentações segundo cada método de medição de dureza.

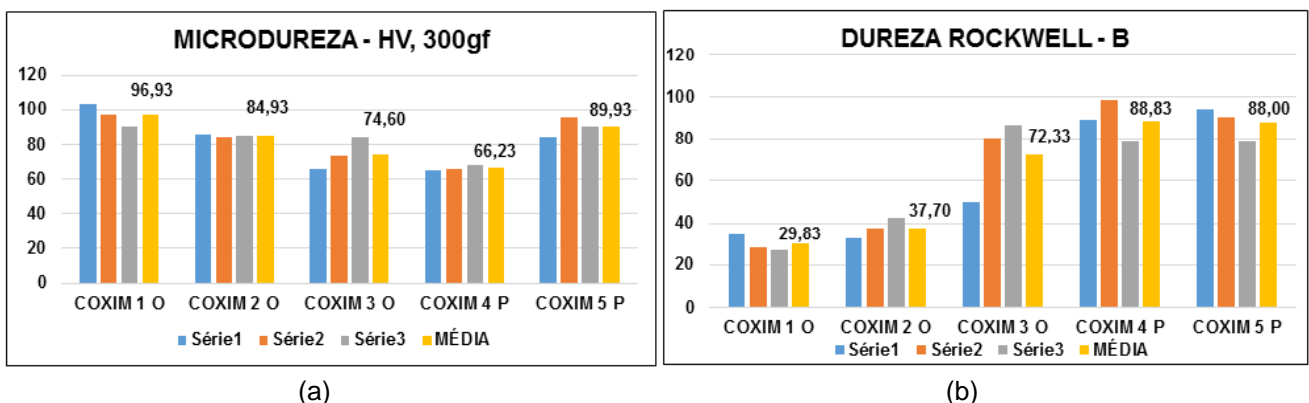


Figura 7- (a) Valores de microdureza Vickers - HV e (b) valores dureza Rockwell - HRB.

Os valores de microdureza Vickers - Hv, tanto para as amostras de coxins de cambio “originais de fábrica quanto aos “paralelos”, apresentaram valores, médios, entre 66,23 HV e 96,93 HV. A variação de valores, da ordem de 30 HV, é um indicativo de que as indentações foram, em ambas amostras, obtidas em áreas compostas por fases distintas ou até mesmos na fronteira entre duas fases e, assim, faz-se necessário identificar as fases presentes e, para cada uma, obter o perfil de microdureza para melhor caracterizar as peças em estudo.

Nas amostras, testadas, os valores de dureza Rockwell – HRB apresentaram variações, entre o valor mínimo e o valor máximo registrados, da ordem de até 3 vezes. O menor valor, médio, registrado foi de 29,88 HRB para as amostras do coxim 1. Nas amostras do coxim 2 foi registrado o valor, médio, de 37,70 HRB. Para as amostras dos coxins 3, 4 e 5 os valores, médios, registrados para dureza Rockwell foram, respectivamente, 72,33 HRB, 88,23 HRB e 88 HRB.

As diferenças, significativas, nos valores de dureza Rockwell B se devem, provavelmente, à porosidade observada nas amostras 1 e 2, que apresentaram poros de grade dimensão e de formato irregular, bem como à presença da matriz dendrítica de uma provável fase Al.

Os maiores valores de dureza HRB registrados nas amostras dos coxins 3, 4 e 5 se devem, principalmente à matriz, “refinada”, de Al e à presença da microestrutura acicular, característica da presença de Si na composição da liga metálica.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, com o uso de microscopia ótica, revelaram que as amostras 1 e 2, dos coxins de cambio automotivo “originais de fábrica”, aqui estudadas apresenta muitos poros e as respectivas microestruturas são formadas de uma matriz com aspecto dendrítico associado a inúmeros grãos equiaxiais, provavelmente, fragmentos de dendritas. Identificou-se, ainda, nas amostras 1 e 2 a precipitação de fase, secundária, em formato de “escrita chinesa”, característica da fase  $Mg_2Si$ ,

Nas amostras 3 (coxins “originais de fábrica”), 4, e 5 (coxins “peças paralelas”) observou-se pouca porosidade e microestruturas com aspecto acicular sobre uma matriz, área clara, provavelmente formada de Al. Nessas amostras, ainda, foi observada uma segunda fase formada por estruturas aciculares, aspecto característico da presença de Si, elemento formador de eutético nas ligas de Al.

Em relação à microdureza Vickers, os valores, médios, registrados, são da ordem de 66 HV a 96 HV e levam a crer que as indentações foram, independentemente da amostra, realizadas em áreas compostas por fases distintas ou até mesmos na fronteira entre duas fases e, assim, faz-se necessário a execução de novos testes em função das fases presentes nas amostras das peças em estudo.

As diferenças, significativas, nos valores de dureza Rockwell B se devem, provavelmente, à porosidade e as diferentes matrizes metálicas observadas. Nas amostras 1 e 2 observou-se grandes poros e os valores de dureza registrados foram, respectivamente, 29,88 HRB e 37,70 HRB. Os valores de dureza Rockwell B registrados nas amostras dos coxins 3, 4 e 5 são, respectivamente, 72,33 HRB, 88,23 HRB e 88 HRB e esses se devem, principalmente à matriz, “refinada” e à presença da microestrutura acicular característica da presença de Si na composição da liga metálica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFMG e ao CNPq pelo apoio financeiro e aos senhores; Prof. Geraldo Lúcio de Faria - LMT/DEMET/UFOP, Eng. Paulo Sergio Moreira LMT/DEMET/UFOP e Tec. Alex Rodrigues Borges pela participação nas atividades experimentais do trabalho

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 6671 – **Materiais metálicos – Determinação da dureza Rockwell**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992.

Aluminum Association. [www.aluminum.org](http://www.aluminum.org); Acesso em 07/09/2022.

ASTM E 3-11, “**Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens**”, American Society for Testing Materials, 2011, 13 p.

Associação Brasileira do Alumínio – ABAL. [www.abal.org.br](http://www.abal.org.br); Acesso em 08/09/2022

ABNT NBR ISO 6507-1: **Materiais metálicos -Ensaio de dureza Vickers** - Parte 1: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019a.

[www.autopapo.uol.com.br/peças-para-carros-paralelas-como-escolher](http://www.autopapo.uol.com.br/peças-para-carros-paralelas-como-escolher); Acesso em 06/09/2022

[www.reviewauto.com.br](http://www.reviewauto.com.br); Acesso em 06/09/2022

SIDIREPA - **Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios**. [www.sindirepa.org.br](http://www.sindirepa.org.br); Acesso em 06/09/2022.

SJÖLANDER, E.; SEIFEDDINE, S. **The Heat treatment of Al–Si–Cu–Mg Casting Alloys**, Journal of Materials Processing Technology. Vol. 10, 2010. P1249-1259.

YUAN, G.; ZHANG, X.; LOU, Y.; LI, Z.; **Tribological Characteristics of new series of Al-Sn-Si Alloys**, Trans. Nonferrous Met. Soc. China, VOL. 13, 2003, 774-780.