

DIEGO AUGUSTO TRANNIN GUERRERO

MARCELLO PAIVA MAROSTI

VICTOR CARBONARO FRANCO SILVA

**UM ESTUDO SOBRE A PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA
DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7075-T6**

Guaratinguetá

2011

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS GUARATINGUETÁ

UM ESTUDO SOBRE A PREPARAÇÃO METALGRÁFICA
DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7075-T6

Guaratinguetá

2011

DIEGO AUGUSTO TRANNIN GUERRERO

MARCELLO PAIVA MAROSTI

VICTOR CARBONARO FRANCO SILVA

**UM ESTUDO SOBRE A PREPARAÇÃO METALGRÁFICA
DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7075-T6**

Dissertação de trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

Guaratinguetá

2011

Guerrero, Diego Augusto Trannin

G934e AA7075-T6 / Um estudo sobre a preparação metalográfica da liga de alumínio
Diego Augusto Trannin Guerrero, Marcello Paiva Marosti,
Victor Carbonaro Franco Silva – Guaratinguetá : [s.n], 2011.
47 f. : il.

Bibliografia: f. 46-47

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

1. Metalografia 2. Alumínio I. Marosti, Marcello Paiva II. Silva,
Victor Carbonaro Franco III. Título

CDU 620.18

Guaratinguetá

2011

**UM ESTUDO SOBRE A PREPARAÇÃO METALGRÁFICA DA LIGA
DE ALUMÍNIO AA7075-T6**

DIEGO AUGUSTO TRANNIN GUERRERO

MARCELLO PAIVA MAROSTI

VICTOR CARONARO FRANCO SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM ENGENHARIA
DE MATERIAIS”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE MATERIAIS



Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO

UNESP-FEG



Prof. Mestre MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO

UNESP - FEG



Prof. Mestre SANDRO LOMBARDO

UNESP - FEG

Dezembro de 2011

DADOS CURRICULARES

DIEGO AUGUSTO TRANNIN GUERRERO

NASCIMENTO 20.06.1986 – PINDAMONHANGABA/SP
FILIAÇÃO MÁRIO AUGUSTO GUERRERO
RITA DE CÁSSIA BARROS TRANNIN
2008/2011 Curso de Graduação
Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista – Guaratinguetá

MARCELLO PAIVA MAROSTI

NASCIMENTO 22.10.1983 – SÃO PAULO/SP
FILIAÇÃO REINALDO MAROSTI
DULCELÉIA PAIVA MAROSTI
2003/2011 Curso de Graduação
Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista – Guaratinguetá

VICTOR CARBONARO FRANCO SILVA

NASCIMENTO 28.10.1986 – MOGI DAS CRUZES/SP
FILIAÇÃO JAERCIO ANTONIO DA SILVA
MARCIA REGINA CARBONARO FRANCO DA SILVA
2005/2011 Curso de Graduação
Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista – Guaratinguetá

Diego Augusto Trannin Guerrero

Dedico este trabalho aos meus familiares, que tanto colaboraram com minha
formação acadêmica.

Marcello Paiva Marosti

Dedico este trabalho à minha família, meus verdadeiros amigos e ao meu orientador
que me suportaram e auxiliaram nesta jornada.

Victor Carbonaro Franco Silva

Dedico este trabalho em memória de meu pai, Jaercio Antonio da Silva, que não pode presenciar esta etapa de minha vida, porém sei que ficaria orgulhoso em saber que todos os seus ensinamentos foram passados através de minha mãe Marcia Regina

Carbonaro Franco da Silva.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos as nossas famílias, que nos auxiliaram a enfrentar todos os obstáculos para concluir este trabalho, e especialmente a todos os anos dedicados ao curso;

ao nosso professor e orientador, *Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro*, que nos ajudou na iniciação e desenvolvimento deste trabalho bem como nos mostrou alternativas para solucionar todos os problemas enquanto o mesmo era desenvolvido;

à empresa Novelis, localizada em Pindamonhangaba e ao Técnico em Metalografia de ligas de alumínio, Adilson Luiz Sanches, que disponibilizaram tempo e recursos para auxiliar o desenvolvimento deste trabalho;

aos técnicos *Wilson e Célio*, tão importantes quanto nosso orientador;

aos nossos amigos de faculdade e de “república”, que participaram indiretamente na execução deste trabalho.

“O verdadeiro segredo da felicidade
consiste em exigir muito de si
e pouco dos outros”

Guinom

GUERRERO, D. A. T.; MAROSTI, M. P.; SILVA, V. C. F., **Um estudo sobre a preparação metalográfica da liga de alumínio AA7075-T6**. 47 f., Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

A crescente inovação tecnológica e demanda por materiais com melhores propriedades impulsiona pesquisas sobre novos materiais e novas ligas. Para tanto, foram desenvolvidas as ligas de alumínio, dentre elas a AA7075-T6, possuindo diversas aplicações como na indústria aeronáutica, militar, máquinas e equipamentos, em moldes para injeção de plástico e em estruturas. Para estudar e compreender propriedades, características e principalmente a microestrutura do material, a preparação metalográfica é essencial. Este trabalho apresenta novas metodologias para realizar a metalografia de amostras de cavaco da liga AA7075-T6, com ênfase em métodos de polimento. Para as cinco amostras, os melhores resultados se deram com lixamento específico, passando as amostras apenas em um dos sentidos na lixadeira. Para o polimento, o método mais eficiente foi utilizando pano de polimento 16.3 da empresa ATM, solução de diamante 3 μm , solução de diamante 1 μm e solução coloidal de OP-S. Para o ataque químico, o agente reativo utilizado foi o ácido fosfórico (H_3PO_4) 85% P.A., na proporção 90% de água destilada para 10% de ácido. Os melhores resultados foram obtidos nos ataques de 300 e de 240 segundos, revelando os contornos de grão na maioria deles. As metodologias necessitam de mais estudos e mais testes, porém os resultados já se mostraram satisfatórios.

Palavras-chave: metalografia, alumínio, AA7075-T6, cavacos.

GUERRERO, D. A. T.; MAROSTI, M. P.; SILVA, V. C. F., **One study about the metallographic preparation of the aluminum alloy AA7075-T6.** 47p., Monograph (final paper for course conclusion) – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

The increasing technological innovation and demand for materials with better properties boosts research into new materials and new alloys. To do so, aluminum alloys are being developed, among them the AA7075-T6, having many applications in aerospace and military industries, machinery and equipment, molds for plastic injection and structures. To study and understand the properties, characteristics and especially the microstructure of the material, the metallographic preparation is essential. This paper presents new methodologies to achieve the metallography of samples of scrap alloy AA7075-T6, with emphasis on methods of polishing. For the five samples, the best results were those with specific grinding, the samples only going down on the sander. For polishing, the most effective method so far has been using the polishing cloth 16.3, of ATM enterprise, solution of diamond 3 μm , solution of diamond 1 μm , and colloidal solution of OP-S. For the etching, the reactive agent used was phosphoric acid (H_3PO_4) 85% P.A., as 90% in the proportion of distilled water to 10% acid. The best results were obtained in the attacks of 300 and 240 seconds, revealing the grain boundaries in most areas. Methodologies need more studies and more tests, but the results have proved to be satisfactory.

KEY-WORDS: metallographic, aluminum, AA7075-T6, scrap.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Esboço do mecanismo de formação do cavaco.....	22
Figura 2 – Esquema de formação de cavaco.....	23
Figura 3 - Foto da embutidora utilizada para o trabalho.....	26
Figura 4 - Metodologia empregada no lixamento das amostras.....	27
Figura 5 - Foto da lixadeira manual utilizada para lixamento das amostras.....	28
Figura 6 - Foto do esquema utilizado para ataque químico das amostras.....	31
Figura 7 - Foto do microscópio óptico EPIPHOT 200, Nikon.....	32
Figura 8 - Micrografia da amostra A do ataque de 30 segundos, aumento de 500 vezes.....	34
Figura 9 - Micrografia da amostra B do ataque de 30 segundos, aumento de 500 vezes.....	34
Figura 10 - Micrografia da amostra C do ataque de 30 segundos, aumento de 500 vezes.....	34
Figura 11 - Micrografia da amostra D do ataque de 30 segundos, aumento de 1000 vezes.....	35
Figura 12 - Micrografia da amostra E do ataque de 30 segundos, aumento de 1000 vezes.....	35
Figura 13 - Micrografia da amostra A do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.....	36
Figura 14 - Micrografia da amostra B do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.....	36
Figura 15 - Micrografia da amostra C do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.....	36

Figura 16 - Micrografia da amostra D do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.....	37
Figura 17 - Micrografia da amostra E do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.....	37
Figura 18 - Micrografia da amostra A do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.....	38
Figura 19 - Micrografia da amostra B do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.....	38
Figura 20 - Micrografia da amostra C do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.....	38
Figura 21 - Micrografia da amostra D do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.....	39
Figura 22 - Micrografia da amostra E do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.....	39
Figura 23 - Micrografia da amostra D do ataque de 270 segundos, aumento de 1000 vezes.....	40
Figura 24 - Micrografia da amostra E do ataque de 270 segundos, aumento de 500 vezes.....	40
Figura 25 - Micrografia da amostra C do ataque de 240 segundos, aumento de 1000 vezes.....	41
Figura 26 - Micrografia da amostra D – região 1, atacada eletroliticamente, aumento de 200 vezes.....	42
Figura 27 - Micrografia da amostra D – região 2, atacada eletroliticamente, aumento de 200 vezes.....	42

Figura 28 - Micrografia da amostra D – região 3, atacada eletroliticamente, aumento de 200 vezes.....	43
Figura 29 - Micrografia de uma amostra da liga AA7075-T6, aumento de 250 vezes.....	44

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Nomenclatura de ligas de alumínio trabalhadas.....	19
Tabela 2 – Nomenclatura de ligas de alumínio trabalhadas – numeração interna.....	19
Tabela 3 – Características das ligas de alumínio.....	20
Tabela 4 – Sistema de designação de têmperas, subdivisão para as têmperas T.....	20
Tabela 5 – Composição da liga de alumínio AA7075-T6.....	21
Tabela 6 – Características da liga de alumínio AA7075-T6.....	21
Tabela 7 – Tempos médios necessários para cada lixa.....	28

SUMÁRIO

1. Introdução.....	18
2. Revisão Bibliográfica.....	19
3. Materiais e Métodos.....	24
3.1 Metodologia.....	24
3.2 Usinagem.....	25
3.3 Embutimento.....	26
3.4 Lixamento.....	26
3.5 Polimento e ataque químico.....	29
3.6 Ensaio realizado na empresa Novelis.....	32
4. Resultados e discussões.....	33
4.1 Método próprio.....	33
4.2 Preparação metalográfica realizada na empresa Novelis.....	41
4.3 Dados encontrados na literatura.....	43
5. Considerações Finais.....	44
6. Referências.....	46

1. INTRODUÇÃO

O alumínio tem se tornado um dos metais mais consumidos por diversos setores produtivos da indústria mundial. Conhecer as propriedades e características do material e saber como tirar proveito delas são essenciais para o desenvolvimento de novos produtos como também no aperfeiçoamento dos já existentes.

Por possuir excelentes propriedades físico-químicas – destacando seu baixo peso específico, boa resistência à corrosão, alta condutibilidade térmica e elétrica, comparando-se com metais de grande consumo – o alumínio torna-se um dos materiais mais versáteis utilizados na engenharia, por apresentar uma gama muito grande de aplicações, tornando-o também o metal não ferroso mais utilizado no mundo, segundo dados da ABAL (ABAL, 2007).

O alumínio e suas ligas possuem aplicações diversas, como nas indústrias automotiva, eletroeletrônica, aeronáutica, aeroespacial, de bens de consumo, como também em estruturas, construção civil, transportes, dentre outros (EMBRAER, 2006; VOGL, 2006; ABAL, 2007; MACEDO et al, 2006).

Entretanto, com o elevado crescimento da indústria e de tecnologias, tornou-se necessário o estudo de materiais que apresentassem melhores propriedades, sem que houvesse perda de propriedades já existentes. Foram então desenvolvidas as ligas de alumínio, que estão sob constante estudo e inovação, para que haja melhores materiais e, conseqüentemente, melhores propriedades. As ligas de alumínio atendem essas necessidades, por apresentarem boa usinabilidade e temperabilidade (VOGL, 2006).

O objetivo da pesquisa foi criar uma metodologia própria de preparação metalográfica da liga de alumínio AA7075-T6 para obter melhores resultados em menor tempo e com menos desperdício de material metalográfico. Para um trabalho futuro do grupo uma pesquisa poderá ser iniciada para estudar e compreender os mecanismos de formação dos cavacos, obtendo maneiras mais eficientes de torneamento, analisando as micrografias obtidas pela metalografia dos cavacos utilizados e também realizar a microdureza das amostras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A classificação mais comum adotada para ligas de alumínio se dá por meio de normas da ASTM (American Society for Testing and Materials) e da AA (Aluminum Association), que definem composição, estado do material e suas respectivas subdivisões de tratamentos térmicos. Estas características podem ser encontradas nas Tabelas 1 a 4 (BRESCIANI FILHO, 1992; EMBRAER, 2006; PEREIRA, 2009; ABAL, 2007):

Tabela 1 – Nomenclatura de ligas de alumínio trabalhadas (fonte: BRESCIANI FILHO, 1992; EMBRAER, 2006; PEREIRA, 2009; ABAL, 2007).

Nomenclatura de ligas de alumínio trabalhadas	
Característica	Classificação
Alumínio puro (>99%)	1XXX
Cobre	2XXX
Manganês	3XXX
Silício	4XXX
Magnésio	5XXX
Magnésio e Silício	6XXX
Zinco	7XXX
Outros elementos	8XXX

Tabela 2 – Nomenclatura de ligas de alumínio trabalhadas – numeração interna (fonte: BRESCIANI FILHO, 1992; EMBRAER, 2006; PEREIRA, 2009; ABAL, 2007).

Característica	Classificação
Elemento majoritário da liga	NXXX ($0 \leq N \leq 8$)
Índice 0 – Liga Normal Índice 1, 2 e 3 – Ligas com variantes específicas da liga normal, com composições mínimas ou máximas de um elemento	XNXX

Indicadores arbitrários para diferenciar uma liga de outra no mesmo grupo	XXNN
---------------------------------------------------------------------------	------

Tabela 3 – Características das ligas de alumínio (fonte: BRESCIANI FILHO, 1992; EMBRAER, 2006; PEREIRA, 2009; ABAL, 2007)..

Classificação	Estado do Material
F	Material sem garantia quanto às suas propriedades mecânicas, não havendo controle das condições do processo de fabricação
O	Material recozido, com a máxima capacidade de conformabilidade
W	Material solubilizado
H	Material que não apresenta solubilidade e, portanto, suas propriedades mecânicas são obtidas por deformação mecânica. Acompanha um ou mais dígitos
T	Material que apresenta solubilidade e, portanto, tratável termicamente podendo ou não ter encruamento adicional. Acompanha um ou mais dígitos

Tabela 4 – Sistema de designação de têmperas, subdivisão para as têmperas T (fonte: BRESCIANI FILHO, 1992; EMBRAER, 2006; PEREIRA, 2009; ABAL, 2007).

Classificação	Característica
T1	Trabalhado a quente + envelhecimento natural
T2	Trabalhado a quente + encruamento + envelhecimento natural
T3	Solubilização + encruamento + envelhecimento natural
T4	Solubilização + envelhecimento natural

T5	Trabalhado a quente + envelhecimento artificial
T6	Solubilização + envelhecimento artificial
T7	Solubilização + estabilização
T8	Solubilização + encruamento + envelhecimento artificial
T9	Solubilização + envelhecimento artificial + encruamento
T10	Trabalho a quente + encruamento + envelhecimento artificial

Para o presente trabalho foram utilizadas amostras de cavaco obtido por meio de torneamento cilíndrico externo da liga de alumínio AA7075-T6 – cuja composição encontra-se na Tabela 5 (EMBRAER, 2006; HATCH, 1984) e propriedades na Tabela 6 (EMBRAER, 2006; MOREIRA, 2001; CUNHA, 2005; HATCH, 1984), que possui diversas aplicações na indústria como em moldes para injeção, em estruturas, em peças sujeitas a elevados esforços mecânicos em aeronáutica, militar, indústria nuclear, máquinas e equipamentos (ABAL, 2007; VOGL, 2006; EMBRAER, 2006).

Tabela 5 – Composição da Liga de Alumínio AA7075-T6.

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Outros	Al
Mínimo %			1,20		2,10	0,18	5,10		-	0,05	Restante
Máximo %	0,40	0,50	2,00	0,30	2,90	0,28	6,10	0,20	-	0,15	

Tabela 6 – Características da Liga de Alumínio AA7075-T6.

Densidade	2,75 g/cm ³
Limite de resistência	572 MPa
Limite de escoamento	503 MPa

Tensão de cisalhamento	330 MPa
Limite de resistência à fadiga	160 MPa
Alongamento em 50 mm	11%
Resistência à corrosão*	Ruim
Conformação a frio*	Ruim
Usinagem*	Ruim
* em relação a outras ligas de alumínio	

A formação do cavaco em processos de usinagem depende de diversos fatores, dentre eles os mais importantes que geram modificações na estrutura do mesmo: desgaste da ferramenta, temperatura e calor gerado no processo de corte, penetração do fluido de corte e mecanismos de formação de cavaco, explicado na Figura 1 abaixo (FARIA, 2007).

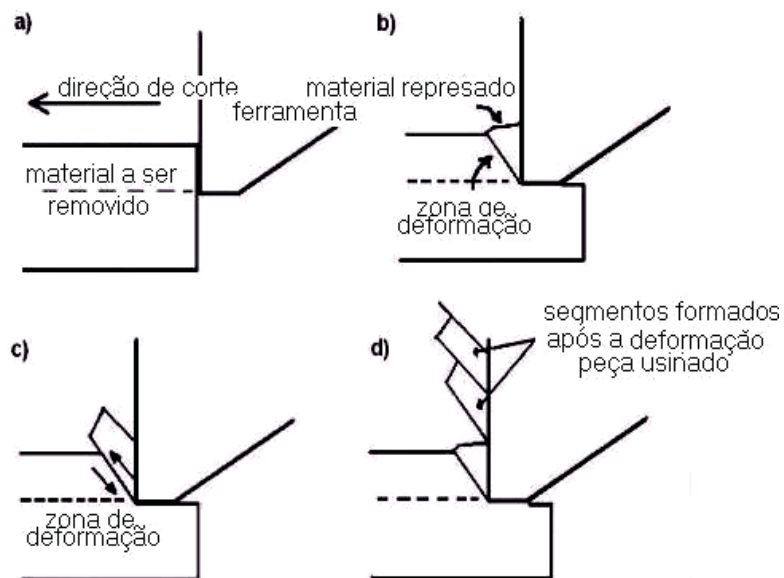


Figura 1 – Esboço do mecanismo de formação do cavaco.

O processo de formação do cavaco é iniciado a partir do momento em que a ferramenta de corte entra em contato com a peça, tomando uma direção de corte. Em

seguida, ocorre recalque e represamento do material, causando deformações no material a ser retirado. Em seguida, parte do material é retirado. A Figura 2 demonstra o processo de maneira mais esquemática:

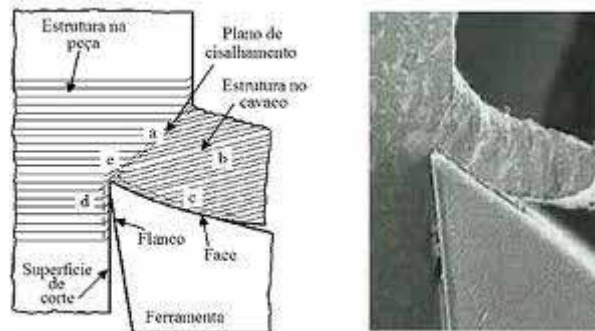


Figura 2 – Esquema da formação de cavaco.

Inicia-se novamente o mesmo processo descrito, formando assim o cavaco, que pode apresentar diversas formas, como helicoidal, em fitas, particulado (em cascas) e em espiral.

Para estudar como essas modificações se processam, é essencial realizar a metalografia das amostras para entender e estudar melhores condições de usinagem. O termo metalografia é antigo e atualmente pode ser substituído por materialografia.

Metalografia foi primeiramente designado para preparação de amostras de metais, que compreendiam embutimento, lixamento, polimento e ataque químico. Porém, com desenvolvimento de diversos materiais de diversos segmentos, fez-se necessário a substituição de metalografia por materialografia (PETZOW, 2001). Entretanto, diversos autores ainda divergem sobre a definição deste termo. Segundo PETZOW, o termo correto a ser utilizado seria materialografia. Já outros autores preferem utilizar o termo metalografia, por ser mais conhecido e mais aceito (LECO, 2005; VOORT, 2000).

Hoje em dia a metalografia já é considerada uma das análises mais importantes para garantir a qualidade dos materiais no processo de fabricação e também para a realização de estudos na formação de novas ligas. Em uma abordagem mais profunda, a metalografia estuda os produtos metalúrgicos, com auxílio de um microscópio, visando à determinação de seus constituintes e de sua textura. Este estudo é realizado

em superfícies previamente polidas e, em geral, atacadas por um agente reativo adequado. A imagem obtida no microscópio da superfície da amostra previamente atacada é denominada micrografia (BAPTISTA, NASCIMENTO, ROSESTOLATO, 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia

A metodologia aplicada para as amostras em questão compreendeu algumas etapas: usinagem, embutimento, lixamento, polimento, ataque químico e fotomicrografias.

3.2 Usinagem

A usinagem das barras da liga de alumínio AA 7075-T6 com dimensões de 41 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento, com furo de centro e um rebaixo para ser fixada no torno, foi realizada na oficina do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá, onde o torno utilizado foi o torno CNC-MACH 9 – CENTUR 30S com rotações de 25 a 3500 rpm e potência de 7,5 CV da empresa ROMI.

O desempenho da ferramenta de corte Sandvik foi considerado em termos de V_c , f e acabamento superficial.

A metodologia nos ensaios possibilitou o estudo do comportamento das ferramentas com relação à progressão do desgaste (VB) em função do comprimento de corte (L_c). Com relação às variações das rugosidades média (R_a) e máxima (R_y) que foram medidas com o rugosímetro Mitutoyo SURFTEST; estes foram analisados em função do comprimento de corte (L_c). A velocidade de corte (V_c) foi um dos parâmetros avaliado, porém para que possa ampliar as análises variou-se o avanço para $f = 0,4mm/rev$ e $f = 0,2mm/rev$.

O parâmetro principal avaliado foi à utilização ou não de lubrificantes e fluidos na usinagem. Foram feitos ensaios com a técnica MQL/MQF (Mínima Quantidade de Lubrificante ou Fluido), com fluido em abundância e usinagem a seco.

3.3 Embutimento

Para o embutimento, foi utilizada resina fenólica preta – comercialmente conhecida como Baquelite; cinco amostras de cavacos obtidos por torneamento

cilíndrico externo; vaselina líquida para lubrificação das paredes da embutidora para facilitar a retirada da amostra e dos componentes da embutidora; vaselina sólida para auxiliar o apoio dos cavacos, que precisam ser colocados na posição vertical, de modo que a região a ser estudada seja a região onde a ferramenta esteve em contato com a peça; embutidora PANPRESS 30, da Pantec, que pode ser observada na Figura 3 abaixo.



Figura 3 – Foto da embutidora utilizada para o trabalho.

Esta embutidora não é muito eficiente, pois demanda muito tempo para obter as amostras, que pode variar de 15 a 30 minutos por amostra.

3.4 Lixamento

A metodologia do lixamento consistiu primeiramente no método mais comumente encontrado, com movimentos para baixo e para cima nas lixas d'água (LECO, 2006), demonstrado na Figura 4, em uma lixadeira manual, que pode ser observada na Figura 5.



Figura 4 – Metodologia empregada no lixamento das amostras.

Entretanto, outro método foi adotado posteriormente por ser mais eficiente que este, descoberto por meio da aluna de Mestrado Cristiane. O método consiste em apenas um movimento da amostra, apenas para baixo no caso da lixadeira inclinada. No método anterior, durante o movimento de subida, algumas partículas que foram retiradas da amostra ou outras partículas na lixa, podem causar riscos indesejados na amostra. Aplicando apenas um movimento, no caso o de descida, essas partículas são arrastadas pela água, fazendo com que no próximo movimento de descida não haja nenhuma ou muito poucas partículas na lixa, reduzindo o tempo necessário para lixamento de cada amostra.



Figura 5 – Foto da lixadeira manual utilizada para lixamento das amostras.

O lixamento das amostras compreendeu a passagem de cada uma nas lixas de grana 220, 400, 600, 800, 1200 e 2400, sendo os tempos menores para as lixas de grana menores e maiores para as lixas de grana maiores. O lixamento estaria completo se os riscos encontrados na amostra estivessem todos na mesma direção. Para constatar o mesmo, foi necessário visualizar as amostras em um microscópio óptico. Entre a passagem de uma lixa a outra, é necessário rotacionar a amostra em 90°, pois assim é possível perceber quando os riscos da próxima lixa estarão na mesma direção (LECO, 2006). Para passagem para a próxima lixa, é necessário lavar a amostra com água filtrada ou destilada, secando com ar frio. As médias de tempo de lixamento podem ser visualizadas na Tabela 8. Os tempos de lixamento dependem de como as amostras encontram-se, se há riscos profundos ou sulcos. Em caso afirmativo, recomendam-se maiores tempos de lixamento na lixa 220.

Tabela 7 – Tempos médios necessários para cada lixa.

Grana da lixa	Médias de tempo
220	1 a 2 minutos
400	4 a 5 minutos
600	4 a 5 minutos
800	4 a 5 minutos
1200	7 a 8 minutos
2400	10 a 12 minutos

3.5 Polimento e ataque químico

O grande limitante de tempo e de resultados na metalografia da liga de alumínio AA7075-T6 é o polimento, que é extremamente difícil, requerendo tempo e paciência, além de seguir metodologia própria para cada material (BAPTISTA, NASCIMENTO, ROSESTOLATO, 2009). Para o polimento, o grupo desenvolveu metodologias próprias, aperfeiçoando o sistema a cada novo sucesso. Para tanto, foram utilizados panos de polimento 16.3 da empresa ATM, próprios para polimento com solução coloidal OP-S. Para todas as tentativas, as amostras apresentaram-se opacas, sem brilho e de coloração escura.

- Método 1: A primeira tentativa do grupo foi o polimento apenas com OP-S, logo depois do lixamento com lixa de grana 2400. As amostras eram lavadas com água filtrada e secas com ar frio. Entretanto, as amostras apresentaram muitos riscos remanescentes da lixa de grana 2400, bem como muitas manchas na superfície do cavaco. Algumas das amostras ficaram próximas do considerado regular, apresentando algumas manchas e alguns riscos. O grupo tentou este método por cerca de um mês, trabalhando cerca de 4 horas por dia, três dias por semana. No entanto, como o tempo de polimento foi elevado, foi

necessário realizar a troca do pano, que já se encontrava desgastado. Com a troca, os resultados obtidos foram muito inferiores, comparados com os do pano anterior (lembrando-se que eram ambos novos, do mesmo tipo e mesma empresa).

- Método 2: A segunda tentativa foi o polimento com solução de diamante 1 μm , seguido de OP-S, lavagem com água filtrada e secagem com ar frio. A solução de diamante 1 μm não foi muito eficaz na retirada dos riscos da lixa de grana 2400, e ainda necessita de tempo maior que o da lixa anterior. Em seguida, o polimento com OP-S não foi satisfatório, pois a amostra ainda encontrava-se com muitos riscos e também com muitas manchas de OP-S. O tempo em que o grupo testou esse método foi de duas semanas, nas mesmas condições da primeira tentativa.
- Método 3: A terceira tentativa foi o polimento com solução de diamante 3 μm , seguida de 1 μm , seguida de OP-S, lavagem com água filtrada e secagem com ar frio. O grupo esperava obter sucesso com este polimento, mas todas as tentativas foram fracassadas. As amostras apresentavam ou muitos riscos e muitas manchas (na mesma amostra), ou muitas manchas ou muitos riscos. Devido à dificuldade do polimento e devido ao fato das amostras estarem melhores do que quando polida com outros métodos, decidiu-se atacar as amostras. Pela opção de atacar as amostras, o grupo utilizou este método por cerca de um mês.
- Método 4: A quarta tentativa foi o polimento com solução de diamante 3 μm , seguida de 1 μm , pasta de diamante 0,25 μm e OP-S, realizando lavagem em água filtrada e secagem com ar frio. Esta tentativa foi a pior dentre todas as anteriores, fazendo com que o grupo abandonasse a pasta de diamante de 0,25 μm e voltasse para a opção que deu mais certo, que foi o Método 3.

No novo polimento a partir do Método 3, o grupo obteve melhores resultados que os anteriores, com menos riscos e menos manchas, mas ainda não estavam satisfatórios, porém possibilitavam ataque químico. Foi nessa quinta tentativa que o

grupo aperfeiçoou ainda mais o método, testando e utilizando o mesmo por cerca de dois meses.

A primeira experiência com esse novo método consistiu no polimento normal das amostras, porém, antes de se retirar a amostra do pano, encharcou-se o pano com água destilada por cerca de 5 segundos. Realizou-se a lavagem com água filtrada e secagem com ar frio. Os riscos ainda permaneciam, mas as manchas de OP-S reduziram significativamente.

A segunda experiência com o Método 3, consistiu no polimento normal seguido de polimento com água destilada apenas. Sorve-se um pouco de água no pano, de modo a deixá-lo molhado. A partir do momento em que se observa que o pano não está mais molhado, sorve-se mais um pouco de água. O intuito é deixar o pano molhado. Realiza-se essa operação por cerca de 3 minutos. Lava-se a amostra com água destilada e seca-se com ar frio. As amostras apresentaram menos riscos e menos manchas ainda a primeira experiência. Mas ainda não estava próximo do ideal.

A terceira e última experiência com o Método 3, consistiu no mesmo processo que a segunda experiência, porém a secagem é realizada com ar quente. Os riscos permaneciam, mas em menor quantidade e as amostras apresentaram-se praticamente isentas de manchas, possibilitando ataque químico.

Esta terceira experiência com o Método 3 de polimento foi a escolhida para prosseguir com o trabalho.

Para o ataque químico, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: capela, termômetro, chapa de aquecimento, béquer de 500 ml, água destilada, água filtrada, secador, cronômetro, ácido fosfórico 85% P.A. e as amostras, aparato que pode ser observado na Figura 6.



Figura 6 – Foto do esquema utilizado para ataque químico das amostras.

A preparação do agente é realizada com auxílio de provetas de 10 ou de 100 ml, ou ainda maiores, dependendo do recipiente e do modo que as amostras serão atacadas. O agente consiste em 90% de água destilada e 10% de ácido fosfórico (H_3PO_4 85% P.A.) a 50 °C (YANG,1997) em tempos que variaram de 30 a 300 segundos. O intuito era o de avaliar quais dos tempos seriam melhores para realizar os ataques.

Para visualização das micrografias, foi utilizado o microscópio óptico EIPHOT 200, da Nikon, como pode ser observado na Figura 7.



Figura 7 – Foto do microscópio óptico EIPHOT 200, Nikon.

3.6 Ensaios realizados na empresa Novelis

Foram preparadas amostras na empresa Novelis, com o contato do técnico em metalografia Adilson Luiz, que trabalha há 15 anos com materialografia de ligas de

alumínio. As amostras foram preparadas de acordo com a experiência do técnico em metalografia e de acordo com os materiais para preparação metalográfica encontrados na empresa. Esta preparação servirá apenas como uma comparação com os métodos encontrados na literatura e com o método desenvolvido pelo grupo. Os resultados obtidos serão apresentados no tópico de resultados e discussões a seguir.

O procedimento realizado pelo técnico para preparar as amostras foi inicialmente similar com o realizado pelo grupo, com embutimento das amostras em baquelite, passando posteriormente para o lixamento mas apenas para lixas de grana 220, 400 e 600. Entre cada etapa de lixamento, a amostra era lavada com água e detergente neutro e secada com ar comprimido.

A técnica de polimento utilizada pelo técnico foi totalmente diferente do encontrado na literatura para a liga, realizada em três etapas diferentes:

1. Pequena quantidade de pasta de diamante como abrasivo, 80 ml de álcool isopropílico diluído em 20 ml de água destilada em rotações que variaram de 100 a 150 rpm durante cerca de 10 minutos;
2. Pequena quantidade de óxido de magnésio como abrasivo utilizando água destilada como lubrificante em rotações que variaram de 100 a 150 rpm durante cerca de 6 minutos;
3. Sílica coloidal, 10 ml desta diluída em 20 ml de água destilada, utilizando água destilada como lubrificante em rotações que variaram de 100 a 150 rpm por cerca de três minutos.

Um fato curioso utilizado pelo técnico foi a politriz, que apresenta paredes que represam o material, evitando desperdícios e inserção de mais material de polimento, alguns deles muito caros. Segundo o técnico, não há problemas de partículas do próprio material tornarem-se abrasivas devido à rotação da politriz.

Todas essas operações, de embutimento, lixamento e polimento duraram cerca de 30 minutos para cada amostra.

Foi realizado ataque eletrolítico utilizando catodo de alumínio (99,99% de pureza) e amostra como anodo, em corrente e diferença de potencial mantidos em 1,5 A e 20 V, respectivamente. Como solução, foram utilizados 5,4 ml de HBF_4 diluído em 294,6 ml de água destilada, em um béquer sob agitação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Método próprio

O primeiro ataque de 30 segundos não revelou contorno de grão nenhum e a superfície das amostras estava no mesmo estado em que se encontrava quando polida. As micrografias das amostras podem ser observadas nas Figuras 8 a 12.

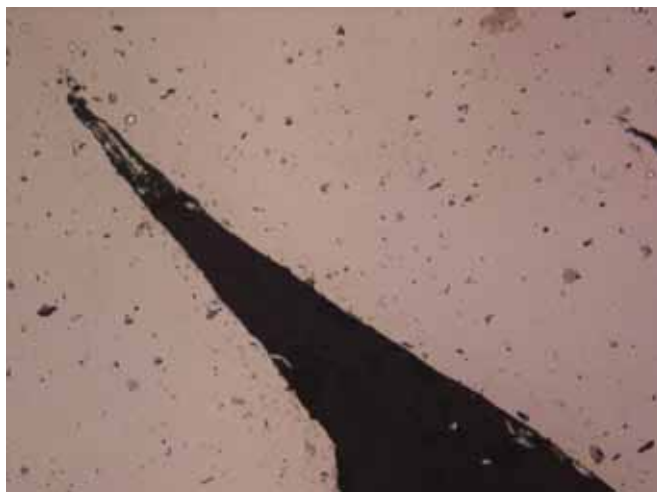


Figura 8 – Micrografia da amostra A do ataque de 30 segundos, aumento de 500 vezes.

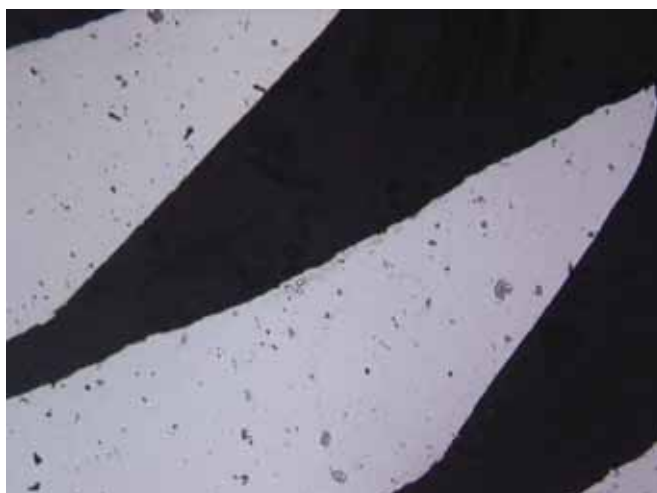


Figura 9 – Micrografia da amostra B do ataque de 30 segundos, aumento de 500 vezes.

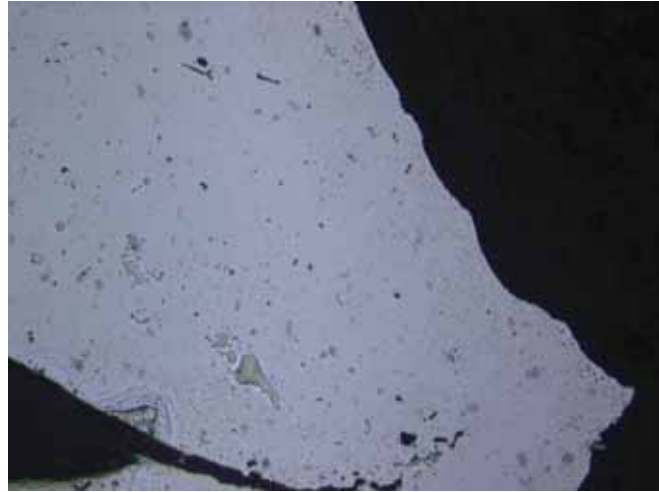


Figura 10 – Micrografia da amostra C do ataque de 30 segundos, aumento de 500 vezes.



Figura 11 – Micrografia da amostra D do ataque de 30 segundos, aumento de 1000 vezes.

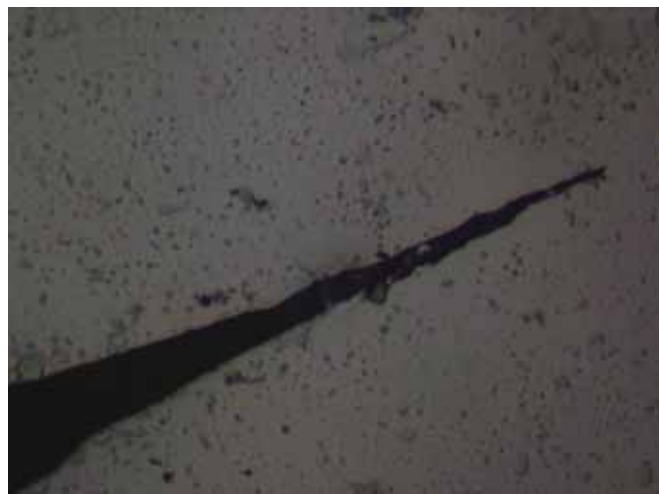


Figura 12 – Micrografia da amostra E do ataque de 30 segundos, aumento de 1000 vezes.

O segundo ataque de 60 segundos também não revelou contorno de grão nenhum e a superfície das amostras estava no mesmo estado anterior. As micrografias das amostras podem ser observadas nas Figuras 13 a 17.



Figura 13 – Micrografia da amostra A do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.



Figura 14 – Micrografia da amostra B do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.

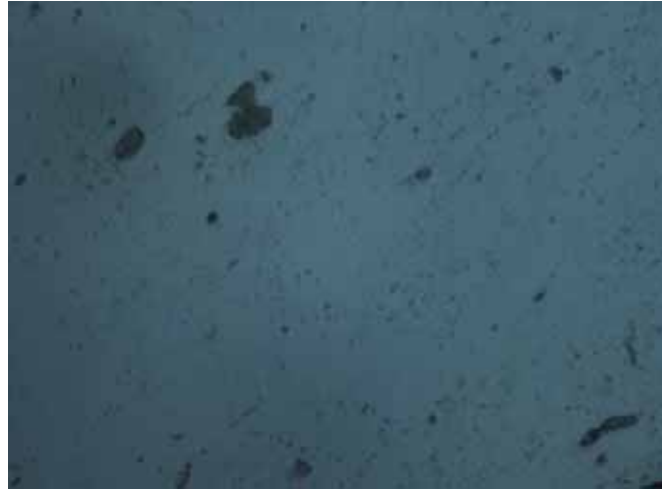


Figura 15 – Micrografia da amostra C do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.

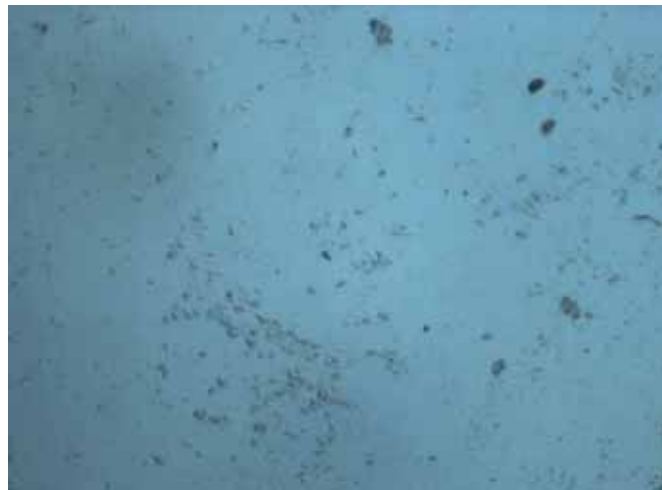


Figura 16 – Micrografia da amostra D do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.

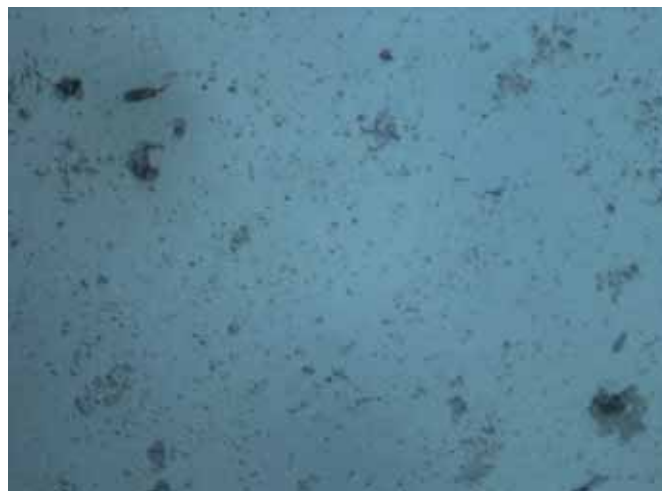


Figura 17 – Micrografia da amostra E do ataque de 60 segundos, aumento de 1000 vezes.

Como os dois ataques anteriores nada revelaram sobre a estrutura do material e também se tratavam de tempos baixos, o grupo decidiu realizar o ataque químico de 300 segundos para avaliar e comparar os resultados obtidos. Neste ataque, apenas uma das amostras teve os contornos de grão revelados (amostra A). O restante das amostras ou ficou queimada ou não revelou o suficiente dos tamanhos de grão. As micrografias podem ser observadas nas Figuras 18 a 22.

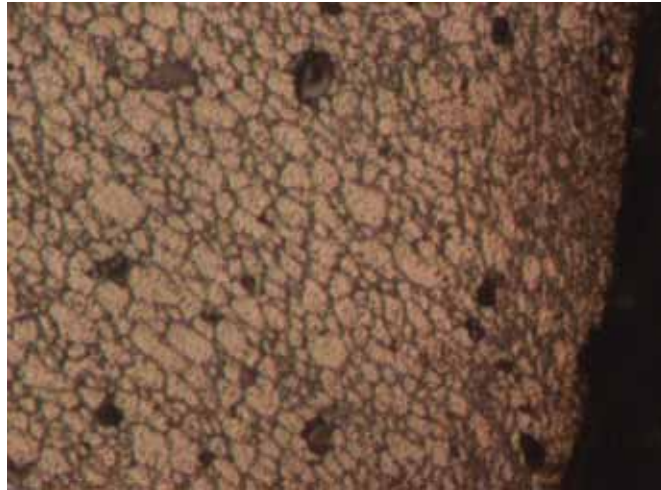


Figura 18 – Micrografia da amostra A do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.

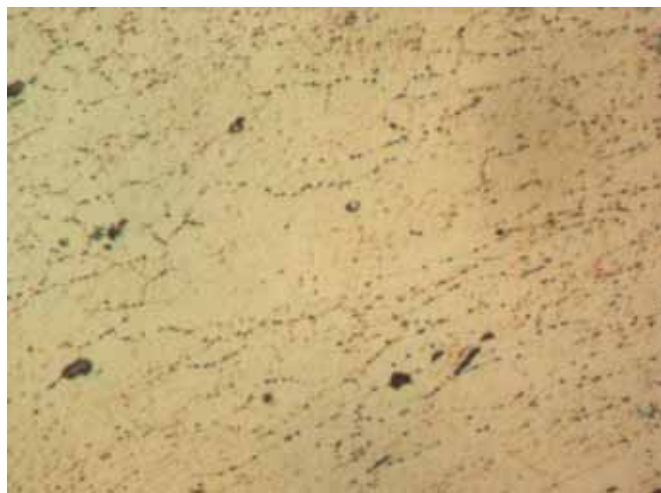


Figura 19 – Micrografia da amostra B do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.

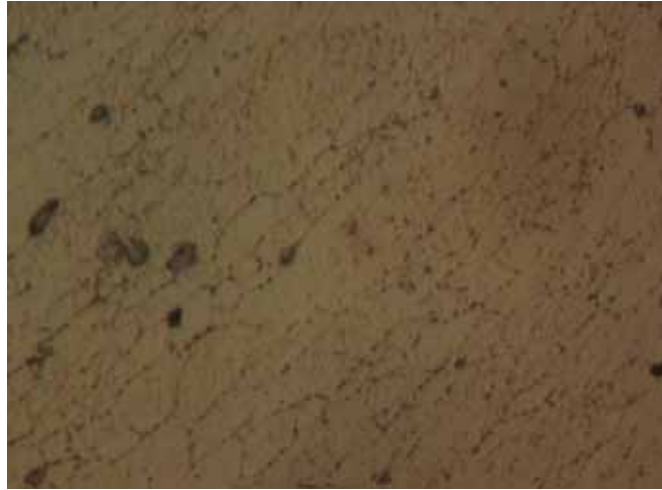


Figura 20 – Micrografia da amostra C do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.

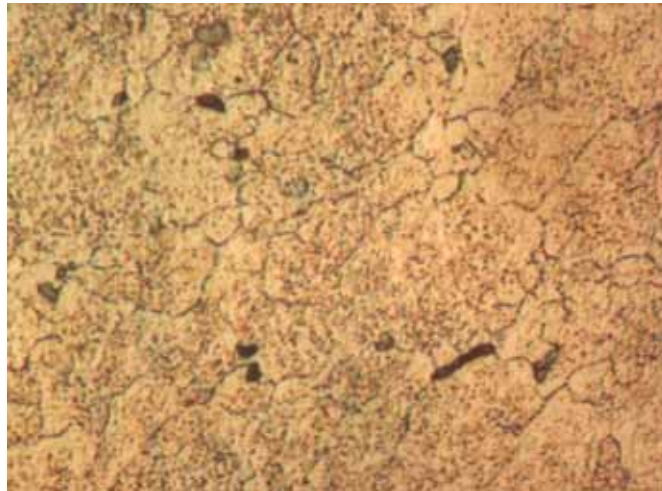


Figura 21 – Micrografia da amostra D do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.

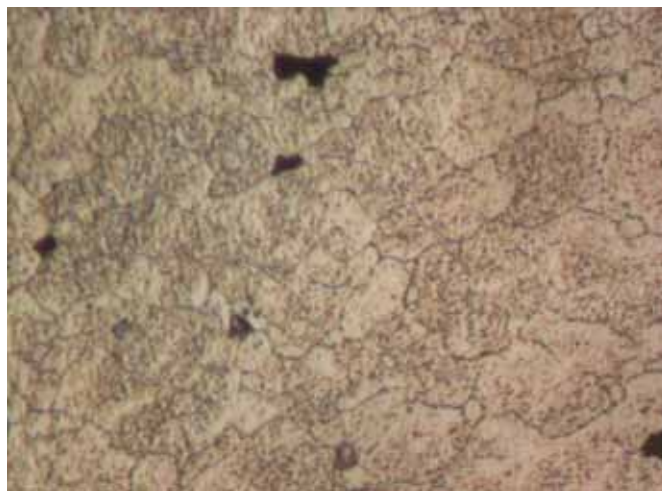


Figura 22 – Micrografia da amostra E do ataque de 300 segundos, aumento de 1000 vezes.

Com esses resultados, o grupo decidiu reduzir os tempos de ataque, de modo que fosse possível obter melhor comparação entre os ataques. Então, o próximo ataque a ser realizado foi o de 270 segundos. Porém, este foi realizado apenas nas amostras D e E, na tentativa de otimizar o processo e também por falta de tempo. Na amostra D, pôde-se visualizar o início dos contornos de grão, mas ainda não satisfatórios. Na amostra E nada pôde-se visualizar. Ambas estavam ausentes de manchas. As micrografias das amostras D e E podem ser observadas nas Figuras 23 e 24.

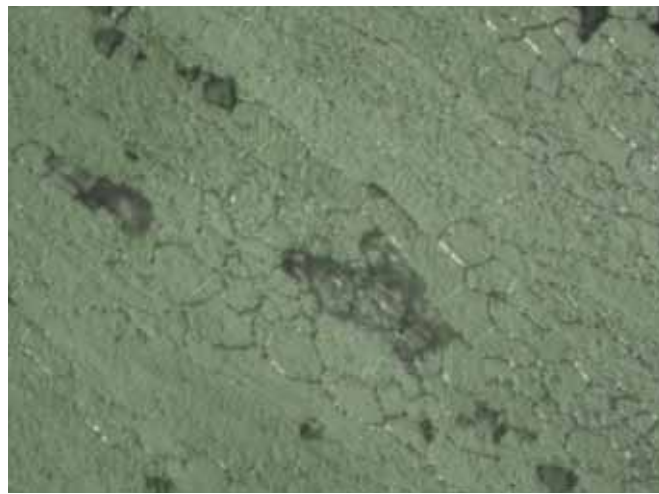


Figura 23 – Micrografia da amostra D do ataque de 270 segundos, aumento de 1000 vezes.

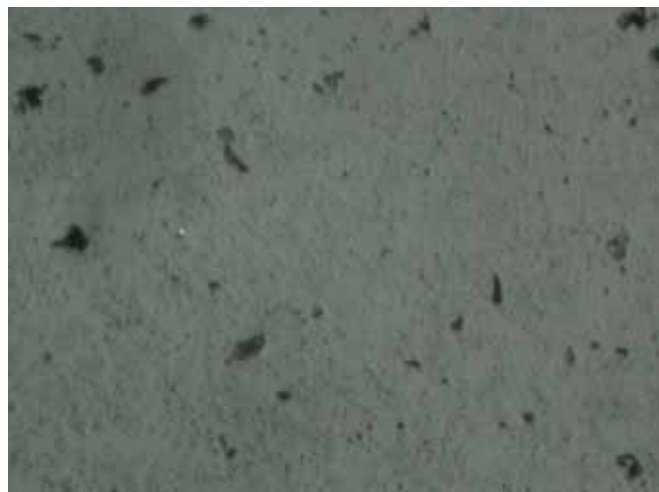


Figura 24 – Micrografia da amostra E do ataque de 270 segundos, aumento de 500 vezes.

O quinto e último ataque de 240 segundos foi realizado apenas na amostra C, em que foi possível observar o começo dos contornos de grão, mas ainda não

satisfatório. A amostra atacada estava isenta de manchas. A micrografia da amostra C pode ser observada na Figura 25.



Figura 25 – Micrografia da amostra C do ataque de 240 segundos, aumento de 1000 vezes.

4.2 Preparação metalográfica realizada na empresa Novelis

Os resultados obtidos pela preparação das amostras na empresa Novelis foram, em relação ao tempo e qualidade do polimento, mais eficientes que os métodos encontrados na literatura e o método desenvolvido pelo grupo. Já para o ataque, os encontrados em literatura e realizados pelo grupo pareceram mais qualitativos em relação aos contornos de grão revelados. As imagens obtidas são disponibilizadas nas Figuras 26 a 28:

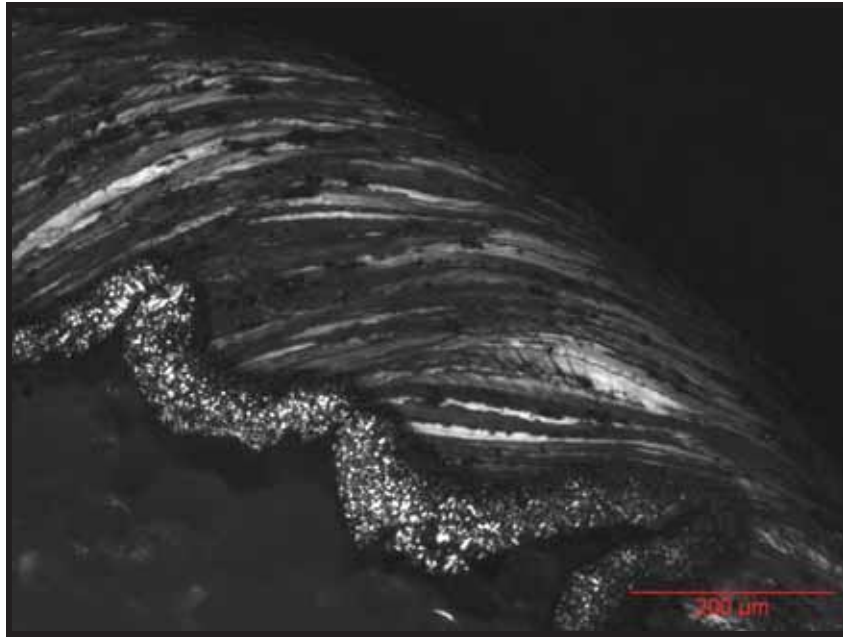


Figura 26 – Micrografia da amostra D – região 1, atacada eletroliticamente, aumento de 200 vezes.

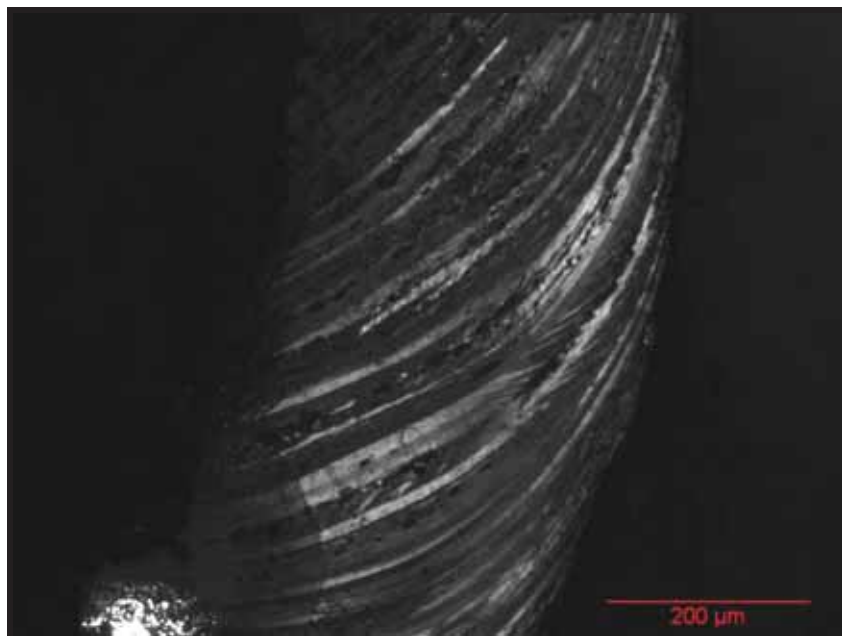


Figura 27 – Micrografia da amostra D – região 2, atacada eletroliticamente, aumento de 200 vezes.

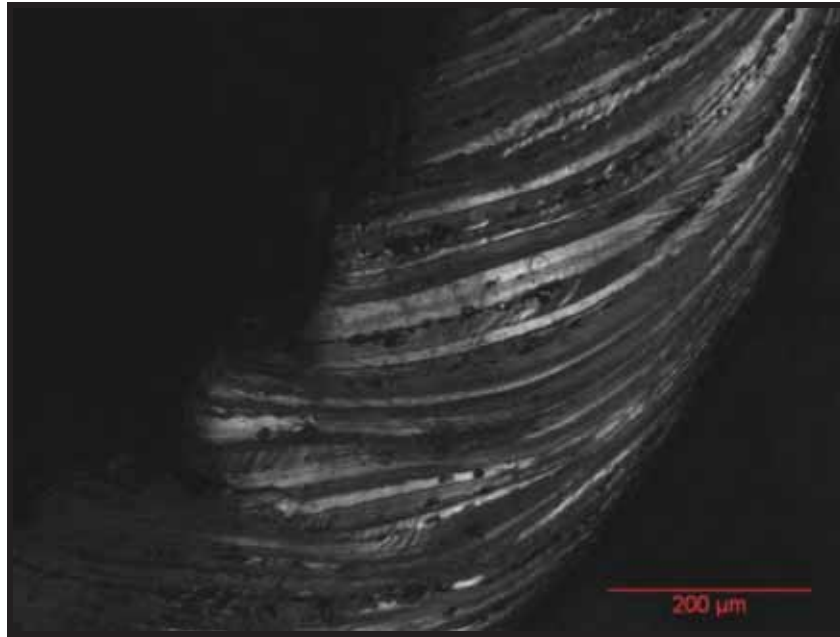


Figura 28 – Micrografia da amostra D – região 3, atacada eletroliticamente, aumento de 200 vezes.

4.3 Dados encontrados na literatura

De acordo com dados da literatura (ASM METALS HANDBOOK VOL 9B – Metallography and Microstructures, 1992), as partículas que encontram-se igualmente dispersas nas imagens obtidas pelo grupo são partículas de Mg_2Si . Qualitativamente, as imagens obtidas pelo grupo realizando ataques descritos na literatura apresentaram-se com mais quantidade de informações sobre contorno de grão e deformações dos mesmos, conforme Figura 29.

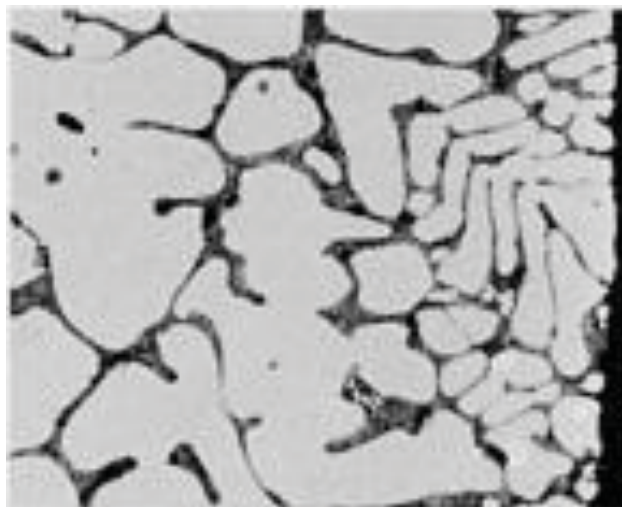


Figura 29 - Micrografia de uma amostra da liga AA7075-T6, aumento de 250 vezes. (fonte: ASM Metals Handbook Volume 9B – Metallography and Microstructures, 1992).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das micrografias foi realizada em termos da presença de riscos, presença de manchas, se as amostras encontravam-se queimadas ou ainda se os contornos de grão puderam ser revelados com clareza. Com o aperfeiçoamento do método de polimento para um mais eficaz e menos dispendioso, em termos de tempo e processo, futuramente o grupo poderá fazer uma interpretação mais a fundo das micrografias obtidas.

Devido à dificuldade de preparação metalográfica, o grupo decidiu modificar o planejamento da pesquisa, de modo que fosse possível desenvolver novos métodos para obter maior eficácia e melhores resultados com as micrografias. Neste meio tempo, o sistema de lixamento foi modificado, reduzindo os tempos de lixamento.

Já os problemas com polimento foram mais graves e, portanto, precisaram de mais estudos e dedicação. Dentre os problemas enfrentados pelo grupo durante o polimento estão:

- Impossibilidade de polir apenas com OP-S;
- Riscos que permaneciam nas amostras, mesmo depois da utilização de pastas de diamante;
- Dificuldade de retirada de manchas de OP-S;
- Dificuldade de polimento com pasta de diamante;
- Desgaste dos panos, devido ao elevado tempo de polimento, necessitando de sucessivas trocas.

Para os ataques químicos, os tempos iniciais utilizados foram de 30 e 60 segundos, ambos com resultados insatisfatórios. O grupo então decidiu aumentar os tempos de ataque, sendo estes parcialmente bem sucedidos, pois apenas uma das amostras teve os contornos de grão revelados.

Em comparação com o método de preparação da amostra que compreendem embutimento, lixamento e polimento e obtenção de imagens desenvolvido na empresa Novelis, o trabalho do grupo foi significativamente mais eficiente, já que as imagens obtidas, ou seja, o resultado final mostrando o contorno de grão nas micrografias, o método utilizado pelo grupo demonstrou-se muito mais eficaz.

Segundo opinião do grupo, este problema de preparação seria sanado se houvesse parceria da faculdade com empresas ou algum programa desenvolvido para tal, pois percebeu-se a diferença de eficiência dos resultados. Necessitaria também a Universidade de investimentos em equipamentos metalográficos, o que facilitaria o trabalho de todos os alunos, visto que as politrizes e lixadeiras são muito antigas. Algo poderia ser modificado nesta parte.

Já em relação aos dados obtidos comparados com a literatura, estes mostraram-se satisfatórios, mesmo porque em diversas referências encontramos como é difícil realizar a preparação metalográfica da liga. Se houvesse documentação e publicação dos métodos realizados pela empresa Novelis, poderia-se economizar muito mais tempo na preparação das amostras, que tomaram muito tempo do grupo para tanto.

6. REFERÊNCIAS

ABAL. **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**. 2006.

ASM INTERNACIONAL – The Materials Information Company. **ASM Metals Handbook Volume 9B – Metallography and Microstructures**, 1992.

ASTM E7-00. **Standard Terminology Relating to Metallography**.

BAPTISTA, A. L. B., NASCIMENTO, I. A., ROSESTOLATO, A. **A metalografia colorida do alumínio**. Spectru – Instrumental Científico Ltda. 2009.

CUNHA, E. A. **Usinagem da liga de alumínio ASTM AA 7050 por torneamento**. Tese de Mestrado. UNESP – Faculdade de Engenharia – Campus Guaratinguetá, 2005.

DINIZ, A. E., NORITOMI, P.Y. **Parâmetros de usinagem nos esforços de corte em aço**. Máquinas e Metais, São Paulo, 1998.

EMBRAER. Ficha Técnica 7075-T651. 2006.

FARIA, J. C. **Estudo da usinagem em torneamento da superliga à base de níquel NiMoNiC 80A**. Tese de Mestrado. UNESP – Faculdade de Engenharia – Campus Guaratinguetá, 2007.

HATCH, J. E. **Aluminum properties and physical metallurgy**. Editora American Society for Metals, Metals Park, Ohio – 1984.

LECO. **Metallography Principles and Procedures**. LECO, 2006.

MACEDO, D. T. et al. **Avaliação de revestimentos produzidos por aspensão térmica em substrato da liga de alumínio 7075-T3**. 17° CBECIMat, 2006, Foz do Iguaçu, Paraná.

MOREIRA, M. F. **Aplicações das Ligas de Alumínio Conformadas**. <http://www.dalmolim.com.br/EDUCACAO/MATERIAIS/Bibliomat/aluminioconf.pdf> - Acessado em 07 de Dezembro de 2010

VOORT, G. F. V. **Atlas of Aluminum Microstructure.** 2005.

YANG, S. H. H. **A new light optical metallographic technique for revealing grain structures of common 2000, 5000 and 7000 series aluminum alloys.** *Mat. Characterization* 38:165-175 (1997).