



## TÍTULO DO TRABALHO

### DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DE NOVAS LIGAS DE ALUMÍNIO DA SÉRIE 2XX.X A PARTIR DA ADIÇÃO DE TITÂNIO

Reginaldo F. dos Santos<sup>(1)\*</sup>, João S. Santos<sup>(1)</sup>, Raul G. Santos<sup>(1)</sup>, Márcio S.C. da Silva<sup>(1)</sup>, Carlos Frajuca<sup>(1)</sup>, Roberto N. Duarte<sup>(1)</sup>, Renato C. Souza<sup>(1)</sup>, Fábio Bortoli<sup>(1)</sup>, Rafael de O. Chang<sup>(1)</sup>

*Departamento de mecânica, Instituto Federal de São Paulo (IFSP), Av. Marginal, 585, Fazenda Nossa Senhora Aparecida do Jaguari, São João da Boa Vista, CEP 13871-298, SP.  
reginaldo.fersantos@gmail.com*

#### RESUMO

O FUNCIONAMENTO ADEQUADO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS A EXEMPLO DOS UTILIZADOS NOS TRANSPORTES, COMO VEÍCULOS TERRESTRES, MARÍTIMOS E PRINCIPALMENTE AÉREOS, DEPENDE DE ESTUDOS QUE ANTECEDEM SUA CONSTRUÇÃO FÍSICA, ONDE BOA PARTE DESTES ESTÃO VOLTADOS AO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS, DENTRE ELAS AS LIGAS DE ALUMÍNIO, PARA QUE SEJAM CAPAZES DE ATENDER A CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE PROJETO. OS CENTROS DE PESQUISA E AS INDUSTRIAS BUSCAM CONSTANTEMENTE POR MELHORIAS DESTAS CARACTERÍSTICAS, E NO CASO DO ALUMÍNIO, MUITAS VEZES PRIORIZAM PELA REDUÇÃO DE SUA DENSIDADE, AUMENTO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA, OU RESISTÊNCIA A AGENTES DEGRADANTES, COMO NO CASO DA CORROSÃO CAUSADA POR INTEMPERES. DESSE MODO, SABE-SE QUE BOA PARTE DAS MELHORIAS OBTIDAS COM ESTAS PESQUISAS, PROVEM DO DOMÍNIO DE CONHECIMENTOS OBTIDOS SOBRE OS ELEMENTOS QUE CONSTITUEM ESSAS LIGAS METÁLICAS, TORNANDO PREVISÍVEL EM ALGUNS CASOS, A INFLUÊNCIA QUE DETERMINADO COMPONENTE PODE EXERCER SOBRE ALGUMAS DE SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS. ESTE TRABALHO REALIZOU A FUNDIÇÃO, AS ANÁLISES METALOGRÁFICAS E INVESTIGOU AS PROPRIEDADES MECÂNICAS BÁSICAS DE UMA VERSÃO MODIFICADA DA LIGA DE ALUMÍNIO 242.0, PARA A SEGUINTE CONFIGURAÇÃO APROXIMADA (AL-3,0CU-2,0MG-1,5FE-0,7MN-1,0TI), ESTA LIGA TEM APLICAÇÕES PARA A FUNDIÇÃO E PERTENCE À SÉRIE 2000, CONFORME A CLASSIFICAÇÃO DA ALUMINUM ASSOCIATION, ONDE O COBRE É O SEGUNDO ELEMENTO EM CONCENTRAÇÃO DE MASSA. OS ELEMENTOS PARA A COMPOSIÇÃO DA LIGA FORAM RECEBIDOS POR DOAÇÕES DE EMPRESAS, E NA SEQUÊNCIA FRACIONADOS, PESADOS NAS RESPECTIVAS PROPORÇÕES NECESSÁRIAS E DEVIDAMENTE FUNDIDOS EM FORNO ELÉTRICO, COM AUXÍLIO DE CADINHO, A UMA TEMPERATURA DE

**850°C APROXIMADA, QUANDO FINALMENTE O MATERIAL LIQUEFEITO FOI VAZADO EM LINGOTEIRA METÁLICA PARA SOLIDIFICAÇÃO. NUMA ETAPA SEGUINTE O MATERIAL FOI CORTADO EM ALGUMAS PARTES QUE SOFRERAM ANÁLISE COM ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA, EDS E EDX, ENQUANTO OUTRAS FORAM USINADAS EM FORMA DE CORPOS DE PROVAS PARA ENSAIO DE TRAÇÃO, MICRODUREZA E AMOSTRAS METALOGRÁFICAS. O MATERIAL FOI ANALISADO EM DOIS MOMENTOS DISTINTOS, NO PRIMEIRO NA CONDIÇÃO DE COMO FUNDIDO E NO SEGUNDO APÓS TER RECEBIDO OS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE SOLUBILIZAÇÃO (530°C-1H) E ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL (200°C-6H). OS RESULTADOS OBTIDOS PARA MICRODUREZA (127HV) NO PÓS TRATAMENTO EM RELAÇÃO AO VALOR INICIAL QUE ERA DE (103 HV), EVIDENCIOU QUE OS TRATAMENTOS TÉRMICOS APLICADOS AUMENTARAM A MICRODUREZA DO MATERIAL EM APROXIMADAMENTE 23,3%, ENQUANTO QUE, OS VALORES ENCONTRADOS PARA O LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ANTES E PÓS TRATAMENTO FICARAM EM TORNO DE (126,6 MPA) E (144,8 MPA) RESPECTIVAMENTE, O QUE RESULTA NUM AUMENTO APROXIMADO DE 14,3% NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO APÓS TRATAMENTO.**

**Palavras-chave:** *caracterização, ligas de alumínio, tratamento térmico, fundição, série 2000*

## **INTRODUÇÃO**

As primeiras modificações propostas para o alumínio, ainda que com resultados rudimentares, surgem na década de 1950, quando foi combinado com uma quantidade de outros elementos de propriedades diversas, com intuito de que se apropriasse de novas características ou que melhorasse algumas das já existentes<sup>(1)</sup>. Desta forma, outra importante característica do alumínio passou a ser percebida: sua grande facilidade de se combinar e formar compostos intermetálicos com dois ou mais componentes. O conhecimento técnico gerado no desenvolvimento de combinações do alumínio, com elementos de propriedades mais adequadas, produziu uma vasta quantidade de composições, que passaram a ser denominadas ligas de alumínio. O desenvolvimento das ligas de alumínio, tentavam minimizar seu fraco desempenho no quesito resistência mecânica, através de melhorias de propriedades que poderiam ser influenciadas de acordo com as combinações realizadas entre os elementos envolvidos<sup>(2)</sup>. A padronização elaborada pela Aluminum Association resultou numa sequência de séries numéricas, onde as ligas foram agrupadas conforme seu principal elemento constituinte, com faixas de variabilidade em percentual de massa bem definidas, que abrangiam o conjunto de elementos utilizados em cada composição. Essa classificação subdividiu as ligas em dois grupos, as ligas para fundição e as ligas trabalhadas; com essa divisão, conhecimentos mais específicos de cada grupo ficaram acessíveis e métodos mais adequados para se elevar a resistência de cada liga mais evidentes, seja por tratamento térmico ou trabalho mecânico<sup>(3,4)</sup>. Finalmente o alumínio conseguiu alcançar a resistência mecânica que, até então, só eram atingidas por alguns aços com baixo teor de carbono. Neste trabalho foi realizada a caracterização de uma liga de alumínio da série 2000, a liga para fundição A242.0 modificada em duas condições distintas, uma primeira recebendo uma adição de 1,0% de titânio e uma outra com adição de 1,5% de zinco, ambas intencionalmente sem a presença do níquel que é um elemento padrão para essa configuração de liga. As ligas de alumínio para fundição têm como característica principal boa moldabilidade e assim, asseguram vantagens na obtenção de fundidos que podem ser obtidos quase prontos de fundição, necessitando de poucas ou quase nenhuma operação posterior. A liga A242.0 é uma liga de alumínio própria de fundição, que

substituiu a liga A222.0 na década de 1940 e é utilizada também como base para se produzirem ligas trabalhadas da série 2000, dessa forma se destinando a aplicações que são produzidas através de processos de conformação mecânica<sup>(5)</sup>. A liga A242.0 pertence às ligas da série 2000 e o principal componente de liga utilizado em quantidade na sua composição é o cobre, seguido de outros elementos como magnésio, manganês, níquel, silício, ferro etc. introduzidos em quantidades bem inferiores. Como principais propriedades apresenta elevada dureza e resistência mecânica, inclusive em temperaturas elevadas, boa usinabilidade e alta condutividade térmica<sup>(6)</sup>.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Preparação e fundição

O foco deste trabalho se restringiu ao estudo de uma liga modificada da série 2000, composta por Al-3,0Cu-2,0Mg-1,5Fe-0,7Mn-1,0Ti, que se aproxima da composição da liga de alumínio para fundição 242.0, com aplicações nas indústrias aeronáutica e automobilística. Os materiais utilizados para a composição da liga foram reduzidos a pequenos pedaços ou cavacos, através de usinagem por fresamento convencional. Alguns materiais que se encontravam na forma de pó compactado, foram submetidos à ação de impactos ou esforços mecânicos até que voltassem à condição anterior a atual, para que assim pudessem ser utilizados. Na sequência, com auxílio de forno de resistência elétrica aquecido a temperatura aproximada de 850°C, os materiais foram todos fundidos para a formação da liga no processo de fundição estática, donde se obteve após a solidificação um lingote da liga experimental objeto de estudo.

### Tratamento Térmico

Uma parte do material obtido da fundição recebeu o tratamento térmico de solubilização e envelhecimento artificial passando para a condição denominada (pós tratamento), enquanto uma outra parte foi mantida na sua condição inicial (como fundido).

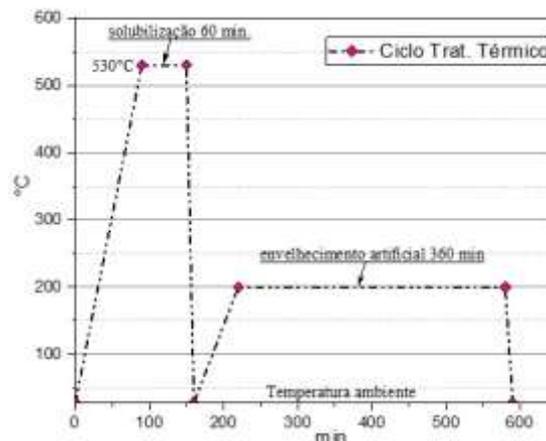


Figura 1: Gráfico do ciclo de trat. térmico

### Preparação das amostras e cdp's

Foram preparadas a partir dos lingotes de liga experimental obtidos, duas séries de amostras contendo, material para análises metalográficas e corpos de prova para ensaios de tração, uma parte delas na condição como fundido e a outra parte na condição pós tratamento.

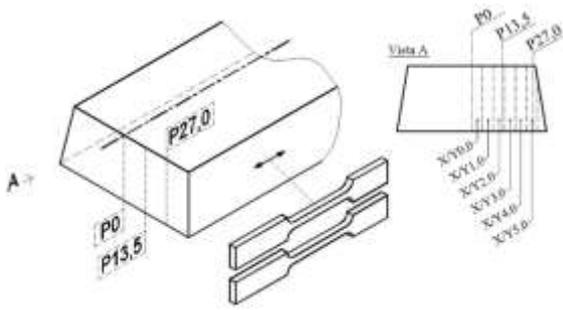


Figura 2: Esquema de corte cdp's para tração

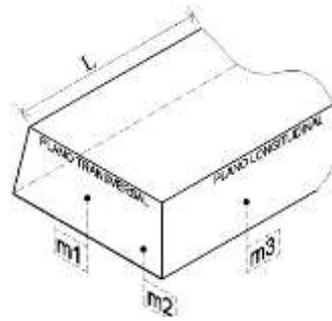


Figura 3: Pos. das amostras metalográficas

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos da análise da dureza realizado nas amostras da liga experimental em suas duas condições (como fundido) e (pós tratamento).

Tabela1: Variação de dureza entre condições

	LIGA X DUREZA [HV]		
	POSIÇÃO[mm]		
	0	13,5	27,0
(como fundido)	122,06	114,16	119,24
(pós tratamento)	147,96	141,46	128,66
Variação [%]	21,22	23,91	7,90

Pela análise da Tabela1 pode-se verificar que dentre as três posições na condição (pós tratamento) a posição 13,5mm foi a que apresentou a maior variação positiva para dureza. Na sequência são apresentadas pela Figuras 4 e 5 as micrografias relevadas da liga experimental em cada uma de suas condições (como fundido) e (pós tratamento) exatamente na posição 13,5mm.

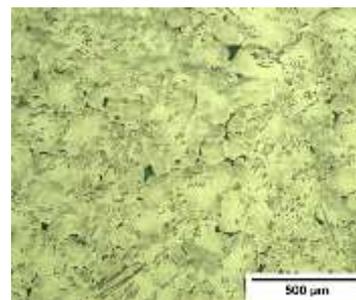


Figura 4: pos13,5(como fund)    Figura 5: pos13,5 (pós trat.)

Na análise das micrografias das Figuras 4 e 5 pode-se observar uma variação acentuada da coloração da microestrutura na condição (pós tratamento), além disso verifica-se um afinamento de grande parte das linhas de contorno de grão, é de se esperar que grande parte do material que se encontrava segregado nesses contornos tenham sido dissolvidos na forma mais fina de precipitado para o interior dos grãos em decorrência do tratamento térmico. A Figura 6

apresenta as curvas de tração versus deformação obtidas pelos ensaios realizados com os cdp's construídos conforme as posições 0, 13,5 e 27,0mm.

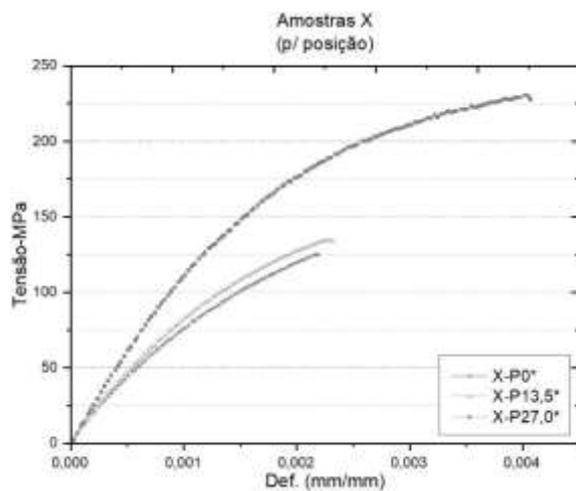


Figura 6: Ensaio de tração por posição

Tabela 2: Resultados de tração

		sem tratamento		pós tratamento	
		Média	D.pad	Média	D.pad
Pos. 0,0mm (0)	Tensão máxima	178	21,5	165	60,3
	Tensão de ruptura	178	21,5	164	61,7
	Tensão de escoam.	144	10,6	162	63,0
	Alongamento	0,0035	0,0005	0,0020	0,0003
Pos. 13,5mm (1)	Tensão máxima	185	50,6	178	46,1
	Tensão de ruptura	184	50,9	175	49,9
	Tensão de escoam.	148	18,2	170	44,2
	Alongamento	0,0039	0,0015	0,0026	0,0004
Pos. 27,0mm (2)	Tensão máxima	180	49,7	186	58,5
	Tensão de ruptura	180	50,3	182	63,4
	Tensão de escoam.	154	32,8	174	49,2
	Alongamento	0,0033	0,0008	0,0028	0,0004
Média geral	Tensão máxima	181	37,2	175	54,1
	Tensão de ruptura	180	37,4	172	56,7
	Tensão de escoam.	149	19,9	167	52,0
	Alongamento	0,0035	0,0009	0,002454	0,00046

## CONCLUSÕES

De acordo com todos os resultados obtidos e comparados com valores disponíveis da literatura, conclui-se que o aumento intencional no percentual de Ti para a formação de uma liga com propriedades mecânicas diferenciadas, em relação a sua propriedade de dureza apresentou um resultado mais positivo na condição (como fundido), superando os valores encontrados na literatura, o mesmo não se repetiu para sua condição (pós tratamento) onde os valores de dureza ficaram muito semelhantes aos da liga comercial. O mesmo comportamento foi observado para os ensaios de tração, os resultados de tração na condição (como fundido) foram mais positivos que os valores obtidos após os tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento artificial aplicados sobre a liga, contudo ainda houve um agravante em relação a esses ensaios que não permitiu o registro de valores bem definidos para os limites de escoamento do material, tendo em vista a ocorrência de fraturas do tipo frágil, que não são comuns para as ligas de alumínio. Dessa forma aparenta-se que o material apresentou alguma melhoria na sua condição de fundido em relação ao quesito dureza, não apresentando utilização satisfatória na condição pós tratamento.

## AGRADECIMENTOS

A empresa Alcoa de Poços de Caldas – MG, pelo fornecimento de todo material utilizado pela pesquisa.

## REFERÊNCIAS

1. ALLOYS, W. A. International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys. Arligton: Aluminium Association, 2015.
2. DAVIS, J. R. Alloying Understand the Basic. Ohio: ASM, 2001
3. ASM, I. ASM Handbook: Properties and selection : nonferrous alloys and special-purpose materials. 10<sup>a</sup>. ed. United States of America: ASM, 1990.
4. POLMEAR I.; STJOHN, D. N. J. Q. M. Light Alloys: Metallurgy of the Light Metals. 5<sup>a</sup>. ed. Oxford: Elsevier, 2017
5. GLAZOFF, M. et al. Casting Aluminum Alloys: Their Physical and Mechanical Metallurgy. 2<sup>a</sup>. ed. United Kingdon: Elsevier, 2018.
6. CAMPBELL, F. Elements of Metallurgy and Engineering Alloys. United States of America: ASM, 2008.