

## ESTUDO DA LAMINAÇÃO A QUENTE DA LIGA 1050 OBTIDA PELO PROCESSO DIRECT CHILL<sup>1</sup>

Mayara Sacardo Ferreira<sup>2</sup>  
Fábio Luiz dos Santos<sup>3</sup>  
Gabriel Berger Arantes<sup>4</sup>  
Mariana de Medeiros Avila<sup>5</sup>  
Paulo Dias Neto<sup>6</sup>

### Resumo

Este trabalho tem como o objetivo de compreender melhor o controle das variáveis do processo de laminação que impactam na cinética de recristalização e suas conseqüências nas propriedades mecânicas no produto acabado após a laminação a frio. Foram acompanhados os processos de laminação a quente das placas até a espessura de 7 mm, em que as mesmas sofreram redução de 97,1% e o processo de laminação a frio com redução de 85,7%. A fim de entender as mudanças ocorridas no material, as amostras foram caracterizadas através de ensaios metalográficos e por ensaios mecânicos.

**Palavras-chave:** Laminação a quente; Liga 1050.

### STUDY OF THE HOT ROLLING THE ALLOY 1050 OBTAINED BY PROCESS DIRECT CHILL

### Abstract

The aim of this work is to understand the effects of rolling process variables on kinetics of recrystallization and its consequences in mechanical properties in the finished product after cold rolling. The material underwent the processes of hot rolling of the slabs until the thickness of 7 mm, in which the total reduction was 97.1%. At the cold rolling process the amount of reduction was 85.7%. In order of understand the changes in material properties, the samples were characterized using metallographic and mechanical tests.

**Key words:** Hot rolling; Alloy 1050.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia de Materiais. Estagiária, Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais. Alumínio, SP, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Produção. Técnico de processos, Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais. Alumínio, SP, Brasil.

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia de Produção. Auxiliar de materiais, Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais. Alumínio, SP, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheira Química. Técnica metalógrafa, Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais. Alumínio, SP, Brasil.

<sup>6</sup> Gestor em qualidade. Técnico de processos. Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais. Alumínio, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O alumínio é um metal altamente utilizado na indústria moderna, o significativo aumento no consumo é a prova de sua importância industrial. A notável importância deste metal é resultado da combinação de propriedades úteis, resultando numa adequabilidade técnica para um campo extraordinário de aplicação em engenharia.<sup>(1)</sup>

A combinação do alumínio com outros variados elementos resultou em inúmeras ligas e segundo as normas ASTM, foram classificadas em grupos e séries com características físico químicas mais semelhantes. O principal objetivo das ligas de alumínio é aumentar a resistência mecânica, sem que afete outras propriedades, de forma que cada liga tem sido desenvolvida com uma combinação apropriada de propriedades adequadas para determinada aplicação.

A liga 1050 é o alumínio comercialmente puro, muito dúctil no estado recozido. É uma liga com excelente resistência a corrosão, a qual é crescente com o aumento da pureza da liga. Tem muitas aplicações, especialmente nos setores químicos, elétricos e em produtos que necessitam de estampagem profunda. As principais características esperadas pelos consumidores da liga são:

- estrutura granular refinada, pois a granulação grossa é revelada no momento da estampagem e pode causar o rompimento;
- material com propriedades mecânicas dentro do limite especificado na norma ABNT NBR 7823 revisão 2007.<sup>(2)</sup>

A principal matéria prima da laminação a quente é a placa obtida a partir do processo Direct Chill – DC. Este processo consiste na passagem do metal líquido, numa camisa refrigerada por água e ar comprimido, onde em contato com a parede do molde e ar, o metal solidifica na camada externa formando uma casca, após o vazamento completo do metal, o material continua sendo refrigerado por um fluxo de água, para solidificar o núcleo da placa. Devido às características do vazamento, a placa apresenta superfície irregular com falhas grosseiras que podem ser removidas pelo processo de fresagem.<sup>(1)</sup>

A laminação a quente é um processo em que a placa obtida pelo processo DC, passa entre dois cilindros que giram em sentidos opostos deformando a placa. Antes de laminar a placa é aquecida a temperaturas acima da de recristalização, aproximadamente 550°C.

A laminação a frio é um processo semelhante ao da laminação a quente, porém a placa se encontra em uma temperatura abaixo da temperatura de recristalização do alumínio. Há um aumento de dureza do material, pois este sofre um encruamento a cada passe.

A recristalização é uma transformação de fase que ocorre por nucleação e crescimento e, portanto, sua cinética é semelhante à das outras transformações heterogêneas como: precipitação e recuperação. Este comportamento pode ser analisado através das mudanças nas propriedades físicas ou mecânicas, além de mudanças na estrutura do material.<sup>(3,4)</sup>

Este trabalho tem como principal objetivo caracterizar a liga 1050 para compreender melhor o controle das variáveis do processo de laminação a quente que impactam na cinética de recristalização e suas consequências nas propriedades mecânicas no produto acabado após a laminação a frio.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais utilizados no trabalho, os métodos de processamento e os métodos empregados na caracterização.

### 2.1 Materiais

O material utilizado neste trabalho é a liga de alumínio 1050, produzida pela Companhia Brasileira de Alumínio – Votorantim Metais na forma de 4 placas fresadas com 228 mm de espessura, em lotes de produção normal em equipamentos de escala industrial.

Foram retiradas amostras de cada placa no final da laminação a quente e de todos os passes da laminação a frio.

### 2.2 Métodos de Processamento

Todas as placas foram submetidas a um tratamento térmico de homogeneização à 500°C por aproximadamente 12h. Depois da homogeneização, o material foi laminado em um laminador duo reversível com controle manual de posição e velocidade. Os parâmetros de laminação utilizados na rotina da fábrica foram mantidos e anotados.

As placas fresadas de 228 mm de espessura e 1310 mm de largura foram submetidas a vários passes de laminação até obter espessura final de 7 mm. Nesta condição foram retiradas 2 amostras, uma no início do bobinamento e outra no final com a chapa ainda no leito.

Após a laminação a quente, o material foi processado em um laminador irreversível a frio, trata-se de um equipamento com menos recursos de controle, porém com grande capacidade de redução. Foram laminados até a espessura final de aproximadamente 1,90 mm e de cada passe foi retirada uma amostra para análise.

### 2.3 Métodos de Caracterização

A fim de entender as mudanças ocorridas no material, as amostras foram caracterizadas através dos seguintes ensaios:

- Ensaios metalográficos para identificar microestrutura e estrutura granular. Foi medida com auxílio de um microscópio óptico Olympus BX51M e uma câmara fotográfica digital Leica EC13. As amostras foram atacadas com HF 0,5% para realização de micro e com HBF<sub>4</sub> sob luz polarizada para ensaio de macrografia;
- Ensaios de tração para obtenção do limite de resistência a tração, limite de escoamento e alongamento de acordo com a norma NBR 7549:2001 – Alumínio e suas ligas - Ensaio de tração dos produtos dúcteis e fundidos;<sup>(5)</sup>
- Composição química foi medida através de espectrômetro de emissão óptica da marca ARL – Applied Research Laboratories, modelo 3460;
- Ensaio de dureza Brinnell em um aparelho da marca Future Tech, modelo LC 200RB;
- Condutividade elétrica com auxílio do condutivímetro ZAPPI DC-10s;
- Earing em um equipamento da marca Erichsen modelo 145-60.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os resultados dos ensaios e suas implicações.

#### 3.1 Ensaios Metalográficos

Serão apresentados os ensaios metalográficos das amostras com espessura de 7 mm retiradas no leito após a laminação a quente e amostras com 7 mm retiradas depois de bobinadas, antes de iniciar a laminação a frio. O objetivo é analisar como o material recristaliza após laminado a quente e isso pode ser visto nas imagens abaixo.

- Lote 1

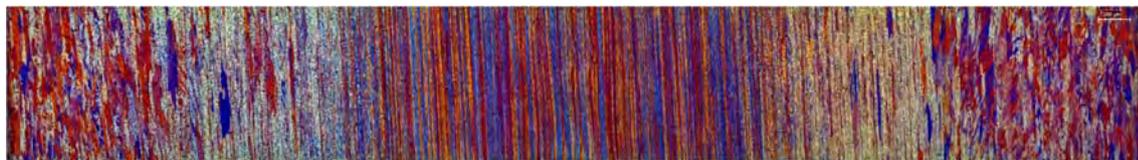


**Figura 1** – Macrografia com luz polarizada do lote 1 no início do bobinamento no laminador a quente.

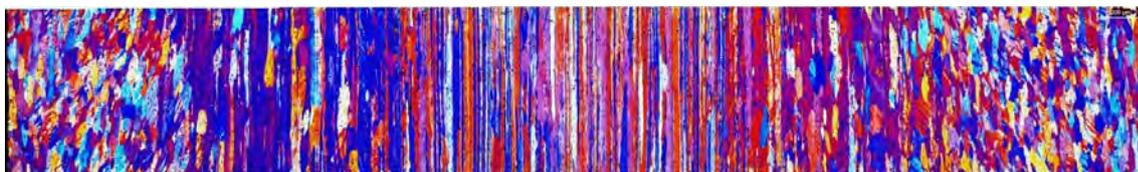


**Figura 2**- Macrografia com luz polarizada do lote 1 no final da bobina no laminador a frio.

- Lote 2



**Figura 3** - Macrografia com luz polarizada do lote 2 no início do bobinamento no laminador a quente.



**Figura 4**- Macrografia com luz polarizada do lote 2 no final da bobina no laminador a frio.

- Lote 3

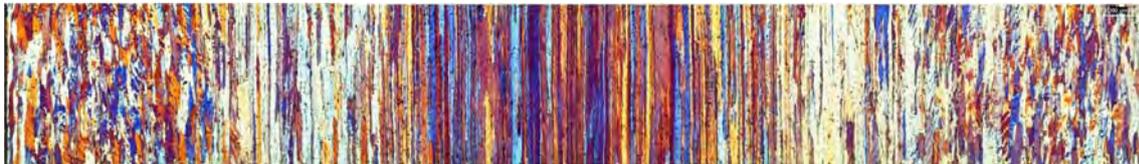


**Figura 5** - Macrografia com luz polarizada do lote 3 no início do bobinamento no laminador a quente.



**Figura 6-** Macrografia com luz polarizada do lote 3 no final da bobina no laminador a frio.

- Lote 4



**Figura 7 - Macrografia** com luz polarizada do lote 4 no início do bobinamento no laminador a quente.

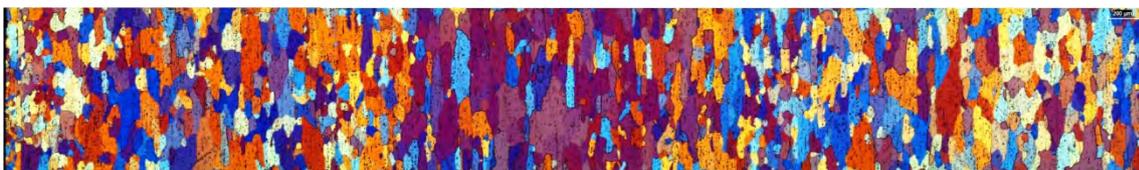


**Figura 8-** Macrografia com luz polarizada do lote 4 no final da bobina no laminador a frio.

Analisando as imagens acima nota-se que todas as amostras depois de bobinadas recristalizaram parcialmente, porém com uma menor recristalização no centro. Isto pode ser explicado pelo fato de que as periferias sofrem maior cisalhamento, e isso causa uma maior deformação nesta região aumentando os sítios de nucleação durante a laminação a quente e têm-se uma maior energia de ativação.

Nota-se que o lote 3 (Figuras 5 e 6) apresentou uma maior recristalização quando comparado com os demais e isso pode ser explicado ao analisar os parâmetros anotados durante o acompanhamento da laminação. O lote 3 foi o que apresentou maior temperatura antes de ser bobinado e teve uma menor quantidade de passes de laminação.

Para efeito de comparação foi realizado um tratamento térmico a fim de recristalizar totalmente o material. O corpo de prova foi tratado à 400°C durante 1 hora e o resultado está disposto na Figura 9.



**Figura 9 –** Macrografia com luz polarizada do corpo de prova tratado a 400°C durante 1 hora.

Este corpo de prova foi retirado do lote 1, que é um lote com maior quantidade de passes e quando comparado com a amostra como produzida apresenta uma grande diferença. Este tratamento comprova que o material necessita de uma temperatura maior, independente da quantidade de passes, para recristalizar totalmente.

Os ensaios para análise de microestrutura apresentam microestruturas características para a liga 1050 de materiais obtidos através do processo de vazamento DC. Revelam distribuições homogêneas de partículas de segunda fase  $FeAl_3$  e nas amostras do material laminado a frio as partículas intermetálicas são fragmentadas. As análises foram baseadas nas Figuras 10 a 13.



Figura 10- Microestrutura do material com 7 mm com aumento 50X.



Figura 11- Microestrutura do material com 4,25mm com aumento de 50X.



Figura 12- Microestrutura do material com 1,98mm com Aumento 50X.



Figura 13- Microestrutura do material com 0,8mm Aumento de 50X.

### 3.2 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração foram realizados nas amostras de cada passe do laminador a frio. Obteve-se o limite de resistência a tração, limite de escoamento e alongamento que foram utilizados para a realização das curvas de encruamento que estão representadas a seguir.

#### • Lote 1

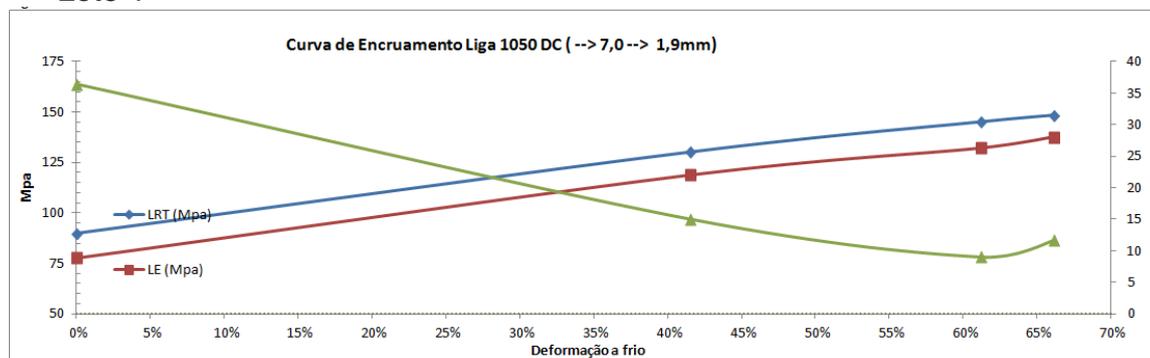


Figura 14- Curva de encruamento do lote 1.

- Lote 2

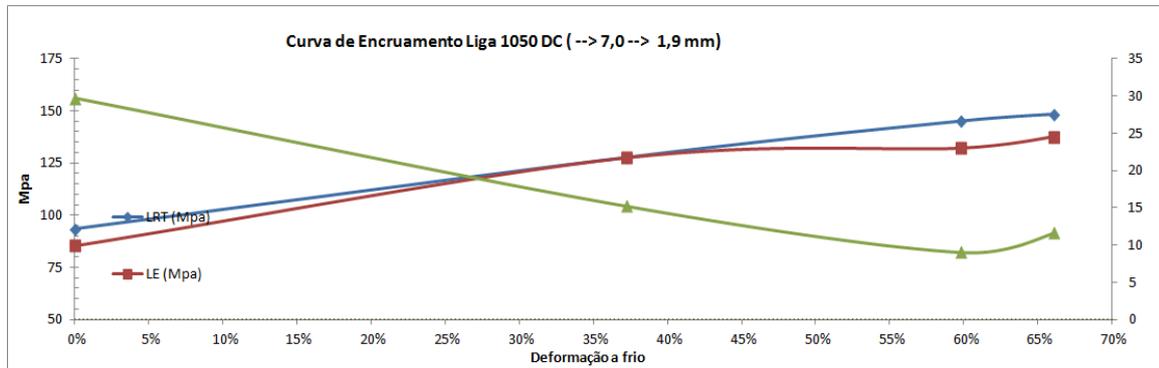


Figura 15- Curva de encruamento do lote 2.

- Lote 3

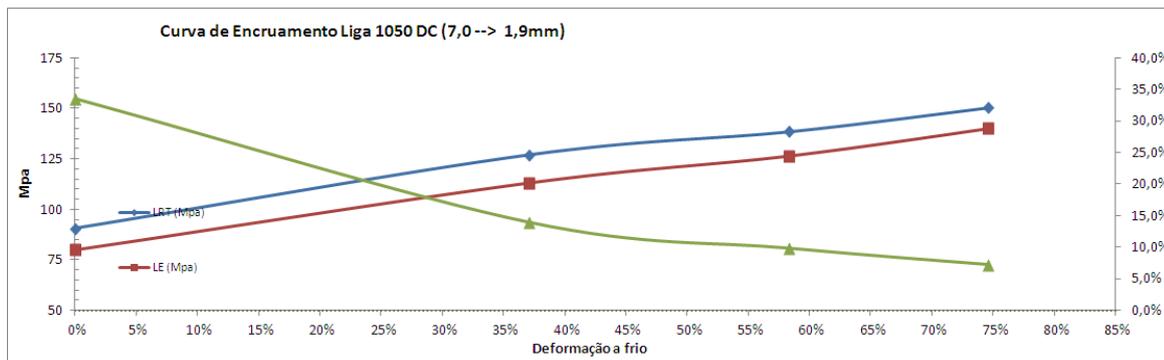


Figura 16- Curva de encruamento do lote 3.

- Lote 4

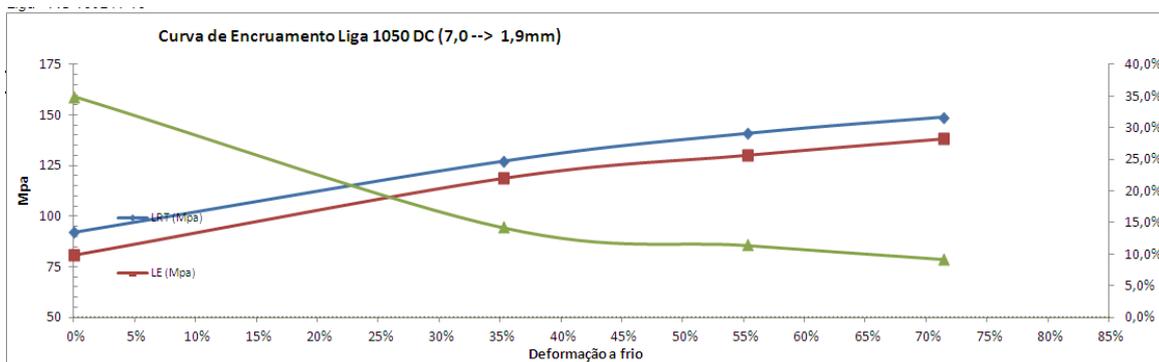


Figura 17 - Curva de encruamento do lote 4.

Para efeito de comparação a amostra tratada termicamente em laboratório foi ensaiada mecanicamente e os resultados podem ser visualizados na tabela 3, onde indica que os valores estão coerentes com a norma.

**Tabela 3-** Propriedades mecânicas da liga 1050

	Limite de Resistência a tração (MPa)		Limite de escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Dureza (HB)
	55 (mín.)	95 (Máx)			
Norma (*)	55 (mín.)	95 (Máx)	-	25 (min.)	21
Corpo de prova	69,9		19,8	62	22,7

(\*) valor de referência a norma ABNT NBR 7823:2007.<sup>(2,6)</sup>

### 3.3 Composição Química

Na análise da composição química foi possível notar que esta resultou em valores dentro do esperado, pois conforme mostrado na Tabela 4, o material foi produzido dentro dos limites definidos na norma ABNT NBR ISO 209:2010 - Alumínio e suas ligas - Composição química<sup>(7)</sup>. Quando o material apresenta variação dos elementos em relação à norma é corrigido antes mesmo do vazamento de placas, inserindo elementos de liga ou metal puro.

**Tabela 4-** Composições químicas da liga AA1050

Lotes	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Norma (*)	0,25 máx	0,40 máx	0,05 máx	0,05 máx	0,05 máx	-	0,05 máx	0,03	99,50 mín
Lote 1	0,072	0,214	0,002	0,006	0,007	0,001	0,005	0,007	99,72
Lote 2	0,074	0,232	0,002	0,007	0,007	0,002	0,006	0,01	99,69
Lote 3	0,074	0,219	0,002	0,007	0,007	0,002	0,006	0,01	99,7
Lote 4	0,074	0,222	0,002	0,007	0,007	0,002	0,006	0,01	99,7

(\*) valor de referencia em relação à norma ABNT ISO 209:2010<sup>(7)</sup>

Foi realizada a análise apenas em uma espessura, pois segundo Fernandes<sup>(8)</sup> a variação ao longo da espessura não é significativa.

### 3.4 Condutividade Elétrica

Nas amostras coletadas na espessura final do laminador a quente e em todas as amostras do laminador a frio foram realizados teste de condutividade elétrica. Estes resultados estão dispostos na Figura 18.

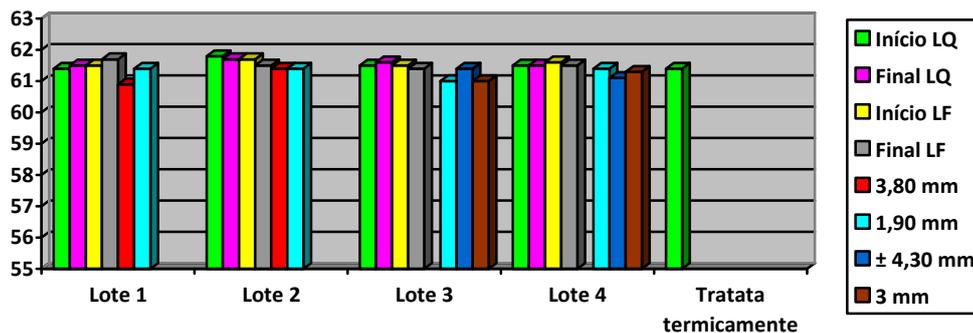


Figura 19 - Valores de condutividade elétrica das amostras.

Nota-se que não houve uma mudança significativa na condutividade elétrica ao longo das espessuras, ou seja, para a liga em questão, a condutividade não tem relação com o estado encruado ou recristalizado da amostra. Analisando também o site da AluMatter,<sup>(9)</sup> pode-se concluir que as amostras apresentaram um valor de condutividade maior do que o encontrado na literatura que é de 59,5 %IACS.

### 3.5 Earing

Os corpos de prova de todos os lotes na espessura de 1,90 mm foram ensaiados a fim de obter os resultados de orelhamento. Os resultados podem ser vistos na Tabela 5 e Figura 20.

Tabela 5- Resultados do earing

Lotes	hmedia picos	hmedia vales	hmedio	Tendência ao earing (Z)	Característica
Lote 1	25,63	23,90	24,77	7,2%	4 orelhas 45°
Lote 2	26,01	23,96	24,99	8,6%	4 orelhas 45°
Lote 3	24,01	22,42	23,22	7,1%	4 orelhas 45°
Lote 4	24,68	22,87	23,78	7,9%	4 orelhas 45°



Figura 20 – Resultados de earing dos lotes 1, 2, 3 e 4.

Todos os lotes apresentaram forte tendência ao orelhamento, com orelhas a 45°, o que indica uma forte textura de deformação. A altura média (h média) foi maior nos

lotes 1 e 2 devido às espessuras dos mesmos estarem um pouco maior do que as do demais.

Essa forte textura de deformação poderia ter sido atenuada se a temperatura de bobinamento a quente fosse maior, uma vez que isso proporcionaria uma textura cúbica, que contrabalancearia a textura de deformação, diminuindo o earing médio.

#### **4 CONCLUSÕES**

Analisando os ensaios mecânicos e metalográficos, verificou-se que a placa que foi submetida a um maior grau de encruamento, ou seja, foi processada com maior força de laminação e menor quantidade de passes, é a que apresentou mais susceptibilidade à recristalização.

Esta placa apresentou uma estrutura granular com grãos recristalizados das periferias até o centro da chapa, porém para a finalidade desta liga todas as estruturas apresentadas nos demais lotes atendem as solicitações de esforços dos processos posteriores.

#### **Agradecimentos**

À Votorantim Metais-CBA pela oportunidade de realização deste trabalho.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 OTOMAR, H. P. Estudo comparativo da estampabilidade da liga de alumínio AA1050 partindo de placas obtidas por vazamento direto e bobinas obtidas por vazamento contínuo. São Paulo, 2010.
- 2 Norma ABNT NBR 7823 revisão 2007
- 3 OLIVEIRA, J. C. P. T. Evolução da microestrutura e da textura durante a laminação a frio e a recristalização de alumínio com diferentes níveis de pureza. São Paulo, 2009.
- 4 PADILHA, A. F.; SICILIANO, F. Encruamento, recristalização, crescimento de grão e textura. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo. ABM. p.232. 2005.
- 5 Norma NBR 7549:2001 – Alumínio e suas ligas - Ensaio de tração dos produtos dúcteis e fundidos.
- 6 norma ABNT NBR ISO 209:2010 - Alumínio e suas ligas - Composição química
- 7 Coletânea de normas técnicas- Alumínio e suas ligas. São Paulo: ABAL- Associação Brasileira do Alumínio, 2008.
- 8 FERNANDES, R. C. Efeito dos teores de manganês e de ferro na evolução micro estrutural de duas ligas do sistema Al-Fe-Mn-Si obtidas por lingotamento contínuo. 2006. 184 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- 9 Aluselect – Mechanical properties. Disponível em:  
[http://aluminium.matter.org.uk/aluselect/09\\_mech\\_browse.asp](http://aluminium.matter.org.uk/aluselect/09_mech_browse.asp). Acesso em: 05/03/2013.