

# ESTUDO DO TRATAMENTO TÉRMICO DE RECOZIMENTO COM DESCARBONETAÇÃO DE AÇO EXTRA-BAIXO TEOR DE CARBONO PARA MÁSCARA DE SOMBRA <sup>1</sup>

Leandro Thiago Loureiro <sup>2</sup>

Kátia Regina Cardoso <sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo o estudo do tratamento térmico de recozimento com descarbonetação de chapas de aço de extra-baixo teor de carbono utilizadas na confecção de máscaras de sombra. Pretende-se verificar o efeito do tratamento térmico e da quantidade de máscaras empilhadas na evolução microestrutural e nas propriedades mecânicas das máscaras. Os tratamentos térmicos de recozimento com descarbonetação foram realizados nas mesmas condições em que as máscaras são tratadas em escala industrial. Dois lotes de amostras foram tratados, o primeiro utilizando um empilhamento de 30 máscaras e um segundo lote utilizando um empilhamento de 60. Quatro máscaras foram retiradas de cada lote em diferentes posições do empilhamento. Amostras das quatro máscaras de cada lote foram caracterizadas por análise química em termos de teor de carbono, análise microestrutural por microscopia ótica com avaliação de tamanho de grão, e ensaios de tração. O teor de carbono encontrado para as máscaras recozidas com um empilhamento de 60 peças foi um pouco maior que o das máscaras recozidas com o empilhamento padrão de 30 peças. Máscaras das posições superiores no empilhamento apresentaram um maior teor de carbono quando comparadas com as de posições inferiores. Com relação à evolução da microestrutura de recozimento observou-se que o tamanho de grão das máscaras recozidas no empilhamento de 60 peças era ligeiramente inferior ao das máscaras recozidas com o empilhamento de 30. No entanto, não foi observada nenhuma diferença no comportamento mecânico em tração das amostras recozidas com diferentes empilhamentos ou entre as diferentes posições das máscaras em um mesmo empilhamento. Não foi observado o fenômeno de escoamento descontínuo em nenhuma das amostras recozidas.

**Palavras-chave:** Máscara de sombra; Tratamento térmico; Recozimento; Propriedades mecânicas.

## STUDY OF DECARBURIZATION ANNEALING OF EXTRA-LOW CARBON STEEL FOR SHADOW MASK

### Abstract

In this work the decarburization annealing of extra-low carbon steel used to produce shadow mask was studied with the aim to investigate the effect of annealing and of the different stacking in the microstructural development and mechanical properties of annealed masks. The annealing was performed in production line furnace in two different stacked conditions, with 30 and 60 masks. Four masks were taken from each stacked condition and characterized by chemical analyses, optical microscopy and tensile test. The carbon content of masks annealed in the stacked condition of 60 masks was higher than that of 30. The upper stacked masks showed higher carbon content as compared with the lowest one. The grain size of masks annealed in the stacked condition of 60 masks was smaller than that of 30. No difference in mechanical behavior was observed, in tensile tests, between the samples annealed in the two different stacking conditions, or among masks of different positions in the same stacking. Yield point phenomenon was not observed in all annealed samples.

**Key-words:** Shadow mask; Heat treatment; Annealing; Mechanical properties.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestrando em Engenharia Mecânica, IP&D – UNIVAP*

<sup>3</sup> *Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais, IP&d- UNIVAP*

## 1 INTRODUÇÃO

A máscara de sombra é um dos componentes do tubo de imagem do televisor colorido, como mostra a Figura 1, que possui um arranjo de fendas ou furos que atuam como guia para que feixes de elétrons de cada canhão atinjam os elementos de fósforo de uma dada cor.<sup>[1]</sup>

As máscaras são fabricadas a partir de tiras de aço laminadas a frio, de extra-baixo teor de carbono. A primeira etapa no processo de fabricação dessas máscaras é o ataque químico para confecção dos furos, que deve ser realizado no aço na condição deformado para evitar um ataque preferencial dos contornos de grãos recristalizados. As máscaras em seguida passam por um tratamento térmico de recozimento para obterem a conformabilidade necessária para a etapa seguinte do processo que é a prensagem.<sup>[1,2]</sup>

Como as máscaras são conformadas após a perfuração, o recozimento é realizado em atmosfera descarbonetante para evitar o aparecimento do fenômeno de escoamento descontínuo, comum em aços de baixo teor de carbono.<sup>[3]</sup> A presença do escoamento descontínuo nessas máscaras levaria à deformação heterogênea e a uma distribuição não uniforme dos furos e, portanto à degradação da cor. Em escala industrial, esse tratamento térmico é realizado em empilhamentos de 30 máscaras.

Este trabalho tem como objetivo o estudo do tratamento térmico de recozimento com descarbonetação de máscaras de sombra produzidas em aço extra-baixo teor de carbono. Pretende-se avaliar o efeito do tratamento térmico e da quantidade de máscaras empilhadas na evolução microestrutural e nas propriedades mecânicas das máscaras recozidas.



Figura 1. Máscara de sombra e um detalhe da perfuração.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho é um aço de extra-baixo teor de carbono aplicado na fabricação das máscaras de sombra. A Tabela 1 apresenta a composição química do aço, enquanto a Tabela 2 apresenta as especificações de propriedades mecânicas deste material.

Tabela 1. Composição química em porcentagem em peso das máscaras de sombra.

C	Mn	Cu	S	Si	Al	N	Cr
0.0035	0.2	0.095	0.004	0.002	0.05	0.009	0,009

**Tabela 2.** Propriedades mecânicas das máscaras de sombra recozidas a 700°C.

Tensão de escoamento 0,2%	Tensão Máxima	Alongamento no ponto de escoamento	Alongamento total	Tamanho de grão
MPa	MPa	%	%	
127	300	0	48	8,5

Os tratamentos térmicos de recozimento com descarbonetação das máscaras de sombra foram realizados em forno de recozimento contínuo, apresentando diferentes zonas de aquecimento, como mostra a Tabela 3, e uma atmosfera composta por uma mistura de N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> saturada em água de 15°C a 30°C.

**Tabela 3.** Temperaturas do forno em °C, com suas tolerâncias para cada zona.

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
625 +/- 30°C	815 +/- 20°C	835 +/- 20°C	885 +/- 30°C	790 +/- 30°C	715 +/- 35°C	550 +/- 100°C

As máscaras foram recozidas em empilhamentos de 30 e de 60 peças para avaliar se com o mesmo perfil de temperatura e atmosfera do forno, o maior empilhamento resultaria em modificações na microestrutura e nas propriedades mecânicas das máscaras. Máscaras recozidas com o empilhamento de 30 peças receberam a denominação de R, enquanto as máscaras que foram recozidas no empilhamento de 60 peças receberam a denominação de RM. Foram escolhidas quatro máscaras de cada empilhamento, segundo a Tabela 4, para confecção dos corpos de prova para caracterização microestrutural e mecânica.

Foram realizadas análises químicas nas amostras não recozidas e recozidas indicadas na Tabela 4 com o objetivo de verificar a redução no teor de carbono das amostras durante o recozimento com descarbonetação. As análises foram realizadas utilizando-se um equipamento determinador de Carbono/Enxofre da marca LECO modelo CS 400.

A preparação de amostras para análise microestrutural das máscaras de sombra foi realizada por técnicas convencionais de preparação de amostras metalográficas. Para o lixamento foram utilizadas lixas abrasivas de granulometria 400 e 600. O polimento final foi realizado em alumina de granulometria de 1 e 0,3 µm. A revelação de microestrutura das amostras foi obtida através de ataque químico com uma solução de Nital a 2%.

Foram realizadas medidas de tamanho de grão nas amostras recozidas utilizando-se o método do intercepto linear, segundo a norma ASTM Internacional E112-96.<sup>[4]</sup>

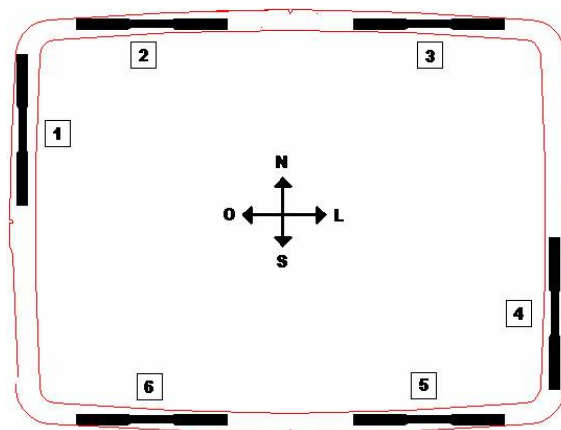
**Tabela 4.** Amostragem de máscaras retiradas de cada empilhamento.

Empilhamento com 30 Máscaras	Primeira máscara de baixo (fundo)	1 <sup>a</sup>	R 1
	Sétima máscara de baixo para cima	7 <sup>a</sup>	R 2
	Vigésima segunda máscara de baixo para cima	22 <sup>a</sup>	R 3
	Trigésima máscara (topo)	30 <sup>a</sup>	R 4

Máscara não recozida		NR
----------------------	--	----

Empilhamento com 60 Máscaras	Primeira máscara de baixo (fundo)	1 <sup>a</sup>	RM 1
	Décima quinta máscara de baixo para cima	15 <sup>a</sup>	RM 2
	Quadragesima quinta máscara de baixo para cima	45 <sup>a</sup>	RM 3
	Sexagesima máscara (topo)	60 <sup>a</sup>	RM 4

A caracterização mecânica das máscaras não recozidas e recozidas foi realizada por ensaio de tração em corpos de prova retirados das posições indicadas na Figura 2. As dimensões dos corpos de prova obtidas segundo norma ASTM E-8<sup>[5]</sup> são mostradas na Figura 3. Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal da marca Instron a uma velocidade de travessão de 4 mm/min.



**Figura 2.** Ilustração das 6 posições de onde foram retiradas as amostras das máscaras para o ensaio de tração.



**Figura 3.** Detalhe do corpo de prova para ensaio de tração.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

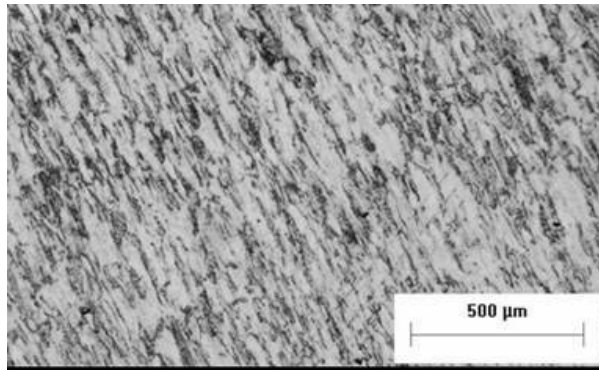
A Tabela 5 apresenta os resultados da análise química realizada para determinação do teor de carbono das amostras. Todos os valores obtidos, tanto para as amostras recozidas como para a amostra não recozida, encontram-se acima do teor nominal de carbono que para este aço é de 0,0035%. Esta discrepância pode ser

resultado de que os teores de carbono destes aços sejam muito baixos para poderem ser analisados com precisão por análise química. Observa-se a partir dos resultados da Tabela 5 que as amostras recozidas com o maior empilhamento, 60 peças, apresentam teores de carbono superiores aos das máscaras recozidas com o empilhamento padrão de 30 peças, o que parece indicar que com o aumento da quantidade de máscaras empilhadas, o recozimento não tem a mesma eficiência em descarbonetar as máscaras, quando mantidas todas as demais condições do tratamento. Outra observação importante que pode ser feita a partir dos resultados da análise química, é que as máscaras localizadas nas posições inferiores do empilhamento apresentam um menor teor de carbono quando comparadas com as máscaras que ocupam as posições superiores do empilhamento. Um resultado semelhante foi obtido por Kim e Jin<sup>[2]</sup> a partir da medida do alongamento no ponto de escoamento para máscaras recozidas em empilhamentos de 25 peças. Esses autores observaram que as máscaras das posições superiores, a partir da 12<sup>a</sup>, apresentaram grande alongamento no ponto de escoamento. Segundo os autores, a descarbonetação insuficiente das máscaras das posições superiores poderia ser atribuída a duas razões; o vapor de água poderia não ser fornecido livremente nos espaçamentos entre as máscaras ou o produto da descarbonetação poderia não estar sendo removido efetivamente e, portanto o acúmulo de gás CO nos espaçamentos pararia a descarbonetação devido ao equilíbrio entre o gás CO e o carbono em solução na máscara. Considerando-se o teor de carbono da amostra não recozida obtido na análise química como referência, poder-se-ia concluir que as máscaras recozidas com um empilhamento de 60 peças e as máscaras das posições superiores do empilhamento de 30 peças, sofreram um aumento do teor de carbono do aço, o que poderia ser resultado de um acúmulo de gás CO.

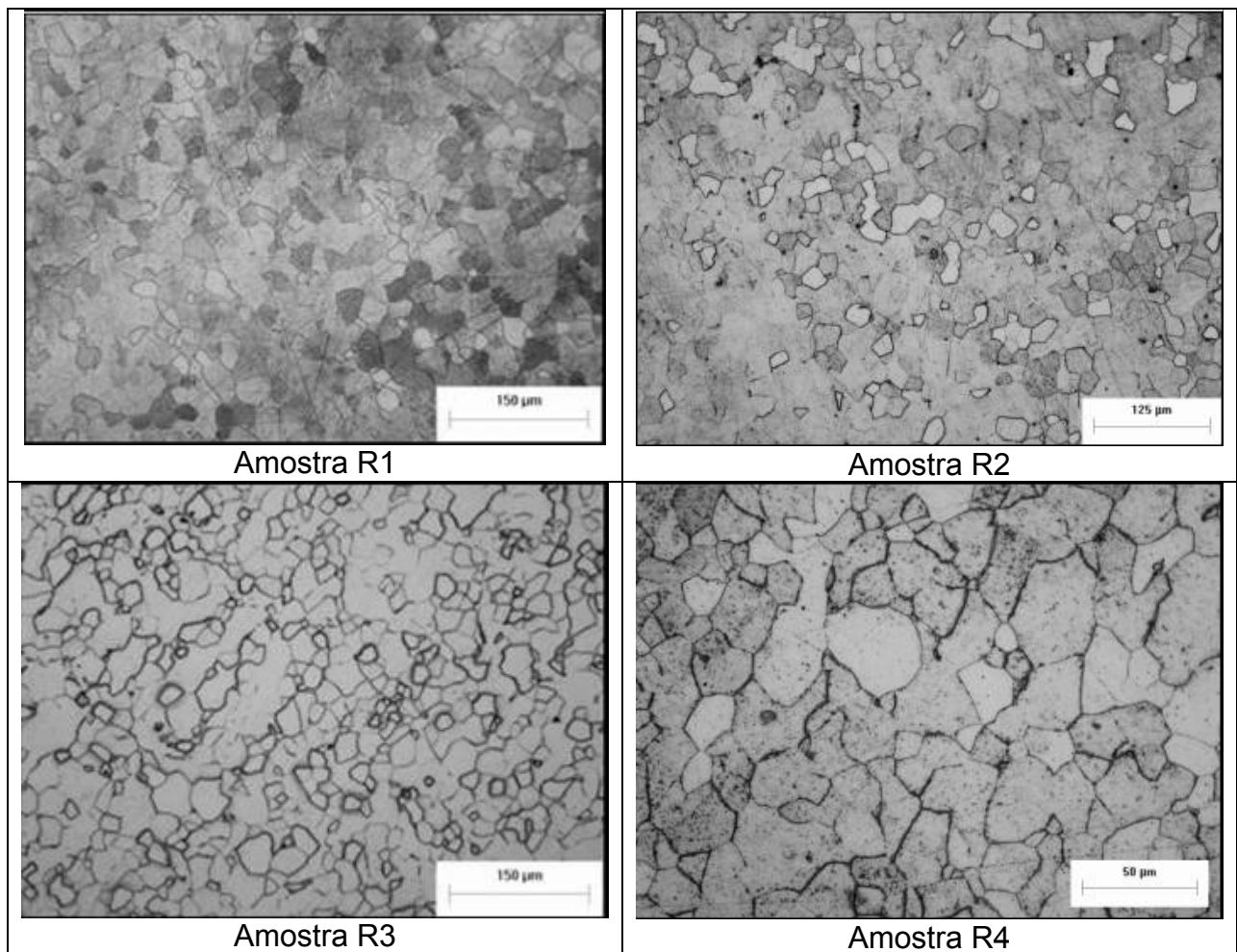
**Tabela 5.** Teor de carbono, em % em peso.

AMOSTRA	CARBONO (%)	AMOSTRA	CARBONO (%)	AMOSTRA	CARBONO (%)
NR	0,00766	R1	0,00752	RM1	0,00993
		R2	0,00764	RM2	0,01093
		R3	0,01196	RM3	0,01094
		R4	0,01217	RM4	0,01561

A Figura 4 apresenta a micrografia obtida por microscopia ótica de uma amostra de máscara de sombra não recozida. A microestrutura observada é típica de uma amostra deformada por laminação a frio, apresentando grãos altamente distorcidos de formato alongado. Os contornos de grãos não são muito bem definidos nestas amostras. As amostras recozidas foram totalmente recristalizadas, apresentando uma microestrutura formada por grãos ferríticos equiaxiais. Não se observa diferenças significativas nas microestruturas das amostras recozidas quando se compara amostras de empilhamentos diferentes ou de diferentes posições dentro do mesmo empilhamento. A Figura 5 apresenta exemplos das micrografias obtidas por microscopia ótica das amostras recozidas.



**Figura 4.** Micrografia obtida por microscópica ótica da máscara de sombra não recozida.



**Figura 5.** Micrografias óticas das máscaras recozidas com empilhamento de 30 peças.

A Tabela 6 apresenta os resultados das medidas de tamanho de grão ASTM realizadas nas amostras recozidas. As medidas dos tamanhos de grão obtidas encontram-se entre 8 e 9 em praticamente todas as amostras recozidas. Esses valores estão em concordância com o valor do tamanho de grão das máscaras recozidas informado pelo fornecedor das máscaras, 8,5, como mostra a Tabela 2. Os grãos das amostras recozidas com um empilhamento de 60 peças são ligeiramente menores que os grãos das amostras recozidas com empilhamento de 30.

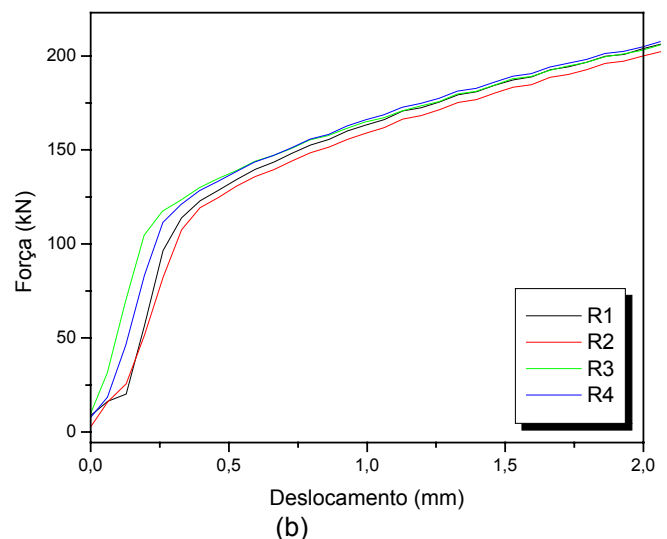
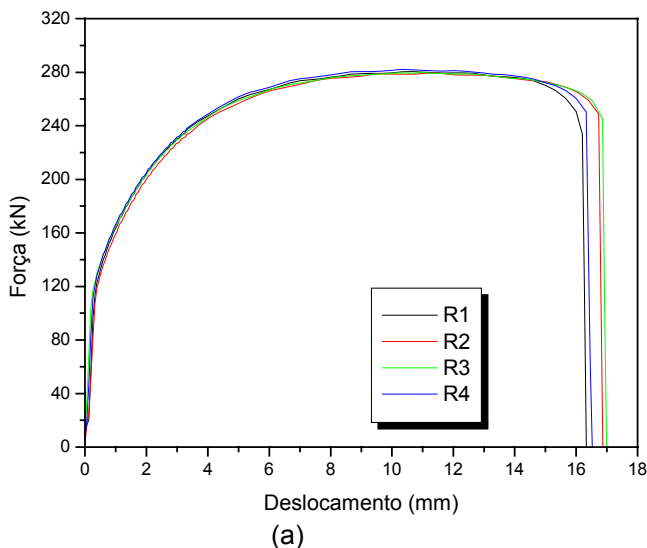
**Tabela 6.** Tamanho de grão ASTM das amostras recozidas com empilhamento de 30 peças e de 60 peças.

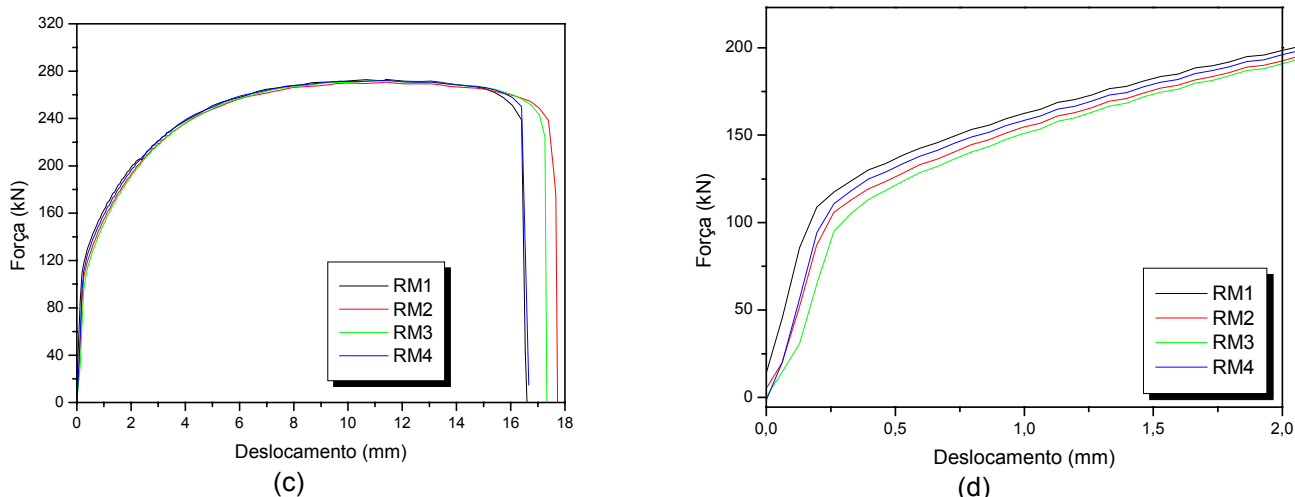
Amostra	Tamanho de Grão ASTM	Amostra	Tamanho de Grão ASTM
R1	8,2	RM1	8,7
R2	8,5	RM2	9,1
R3	8,1	RM3	8,6
R4	8,1	RM4	8,9

A Tabela 7 e a Figura 6 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de tração das amostras recozidas. Nenhuma diferença significativa de propriedades ou comportamento em tração pôde ser observada entre as amostras recozidas com diferentes empilhamentos ou entre as diferentes posições das máscaras em um mesmo empilhamento. Não foi observado o fenômeno de escoamento descontínuo em nenhuma das amostras recozidas. Portanto, apesar da maior quantidade de carbono e do menor tamanho de grão das máscaras recozidas com o empilhamento de 60 peças, o comportamento em tração destas amostras foi semelhante aos das máscaras recozidas com o empilhamento padrão de 30 peças.

**Tabela 7.** Propriedades mecânicas obtidas dos ensaios de tração das amostras recozidas.

Amostra	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)
R1	140,7	257,7
R2	143,2	260,4
R3	139,0	257,6
R4	144,4	261,4
RM1	141,2	261,2
RM2	138,6	259,8
RM3	137,1	260,4
RM4	140,7	260,5





**Figura 6.** Curvas carga x deslocamento obtidas nos ensaios de tração. Amostras recozidas com empilhamento de 30 máscaras em (a) e (b) e com 60 máscaras em (c) e (d). (b) e (d) são detalhes ampliados de (a) e (c) respectivamente.

## 4 CONCLUSÃO

Foram realizados tratamentos térmicos de recozimento com descarbonetação em máscaras de sombra em duas diferentes condições de empilhamento, 30 e 60 máscaras, sob as mesmas condições de temperatura e atmosfera do forno.

Máscaras recozidas com empilhamento de 60 peças e as máscaras que ocuparam posições superiores nos empilhamentos apresentaram maiores teores de carbono.

Não se observou diferenças significativas na microestrutura e no comportamento mecânico em tração das máscaras recozidas com diferentes empilhamentos ou entre as diferentes posições das máscaras em um mesmo empilhamento. Não foi observado o fenômeno de escoamento descontínuo em nenhuma das amostras recozidas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à LGPD pelas amostras das máscaras de sombra e pela realização dos tratamentos térmicos, ao AMR – CTA pelos ensaios mecânicos, ao Laboratório de Análises Químicas do CEFET-ES, pelas análises químicas.

## REFERÊNCIAS

- 1 Handbook DC01, Color Picture Tubes – Philips Display Components; 2000/2001.
- 2 KIM, G., JIN, Y. S. Decarburization annealing of extra-low carbon steel for shadow mask. 43<sup>RD</sup> MWSP Conf. Proc., ISS, vol. 39, 2001.
- 3 Reed Hill, R. E., Princípios de Metalurgia Física. Guanabara Dois, 1982.
- 4 Norma ASTM E112-96 (2004) – Standard Test Methods for Determining Average Grain Size – 2004.
- 5 Norma ASTM E8-00 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials – 2000.