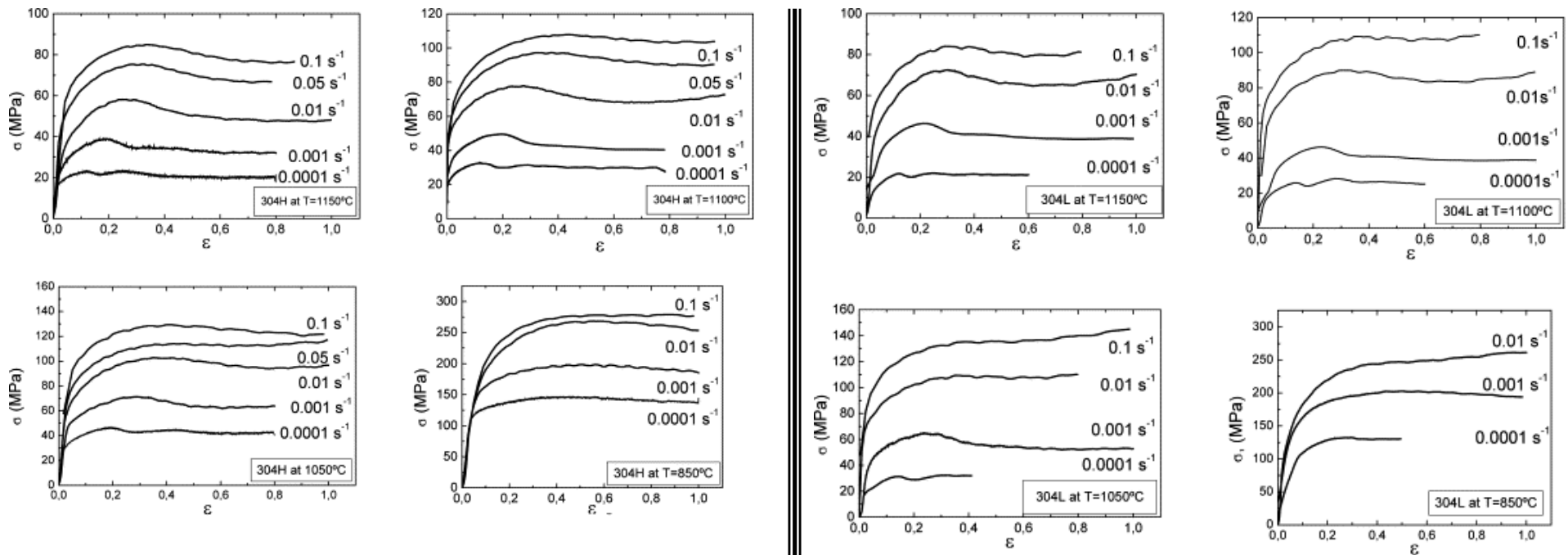


Esta prova é de caráter estritamente individual. O uso de material de consulta próprio é permitido. Procure sempre justificar suas respostas.

- 1) No artigo “*Hot working of two AISI 304 steels: a comparative study*”, M. El Wahabi, J. M. Cabrera and J. M. Prado, *Materials Science and Engineering A*, Volume 343, Issues 1-2, 25 February 2003, Pages 116-125, os autores apresentam os seguintes gráficos de curvas de escoamento obtidos em ensaios de compressão a quente de dois aços inoxidáveis com a composição química mostrada na tabela.

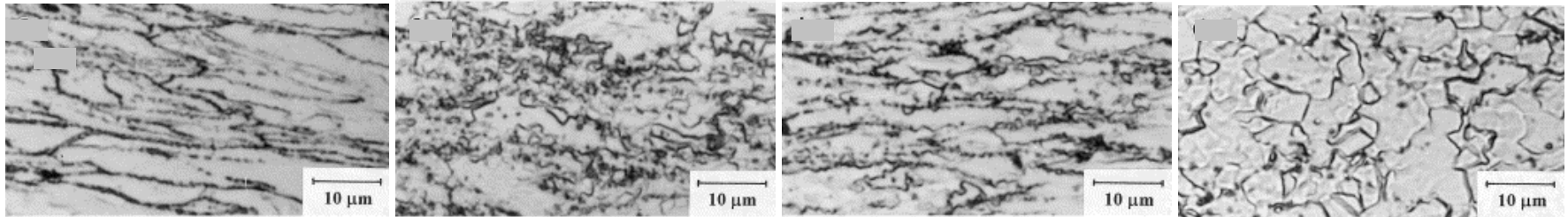
Composição química dos aços
(% de massa)

Steel	C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo
AISI 304 H	0.087	18.42	8.19	1.48	0.42	0.36
AISI 304 L	0.02	18.30	8.97	1.58	0.42	0.25



- quais os mecanismos de amolecimento presentes durante a deformação do aço 304H a 850 °C em função da taxa de deformação?
- pode-se afirmar que esses aços apresentam comportamento distintos sob deformação a quente?
- defina uma expressão que relacione a deformação crítica para ocorrência da recristalização dinâmica em função da temperatura e da taxa de deformação.

- 2) No artigo “*Dynamic recrystallization under warm deformation of a 304 type austenitic stainless steel*”, A. Belyakov, H. Miura and T. Sakai, *Materials Science and Engineering A*, Volume 255, Issues 1-2 , 31 October 1998, Pages 139-147, os autores apresentam as seguintes micrografias obtidas no resfriamento brusco após ensaios de compressão a quente de um aço inoxidável austenítico.



Considerando que essas micrografias representam ensaios com grau e taxa de deformação idênticos, porém realizados a temperaturas distintas, associe cada uma das microestruturas a uma das temperaturas de ensaio (700, 750, 800 e 900 °C) e defina os possíveis mecanismos de amolecimento presentes nas diversas condições de ensaio.

- 3) No artigo “*Anisotropic fracture behaviour of cold drawn steel: a materials science approach*”, J. Toribio and F. J. Ayaso, *Materials Science and Engineering A*, Volume 343, Issues 1-2 , 25 February 2003, Pages 265-272, apresentam-se as seguintes micrografias para um aço de alta resistência mecânica, com a composição química (% em peso) mostrada abaixo, submetido a diversos passes de trefilação. A tabela a seguir apresenta o diâmetro final após cada passe (D_1), bem como a relação dos diâmetros inicial e final por passe (D_1/D_0) e os limites de escoamento ($\sigma_{0.2}$) e de resistência (UTS) sob tração de cdps retirados após cada passe de trefilação.

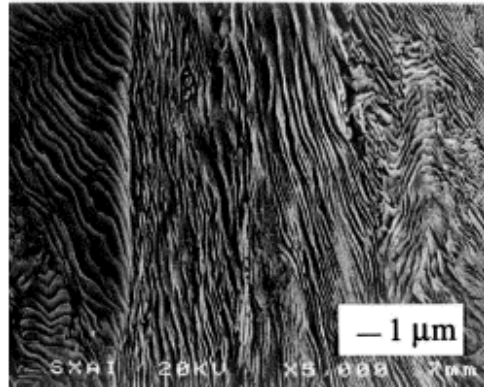
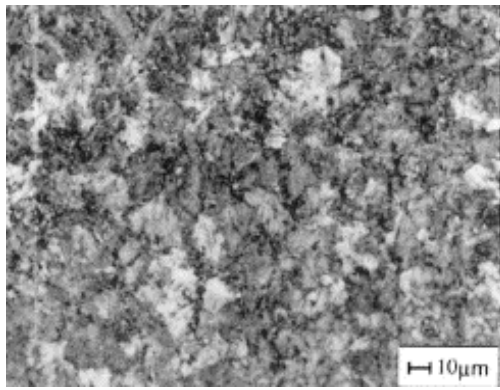
C	Mn	Si	P	S	Cr	V	Al
0.80	0.69	0.23	0.012	0.009	0.265	0.060	0.004

Passe	0	1	2	3	4	5	6
D_1 (mm)	12.00	10.80	9.75	8.90	8.15	7.50	7.00
D_1/D_0	1	0.90	0.81	0.74	0.68	0.62	0.58
$\sigma_{0.2}$ (GPa)	0.686	1.100	1.157	1.212	1.239	1.271	1.506
UTS (GPa)	1.175	1.294	1.347	1.509	1.521	1.526	1.762

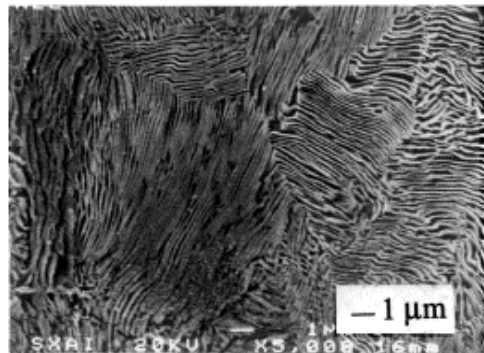
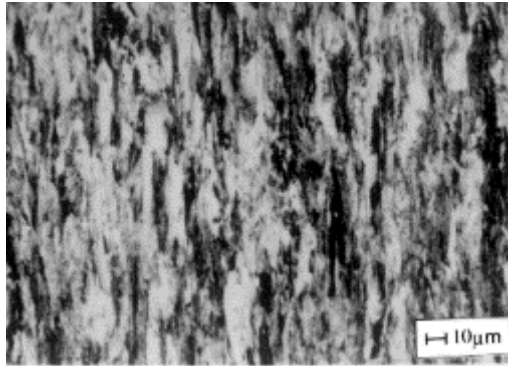
As micrografias da esquerda foram obtidas por microscopia óptica para visualização dos grãos cristalinos e as da direita por microscopia eletrônica de varredura para visualização da estrutura perlítica, e não se encontram ordenadas umas em relação às outras.

Coluna 1

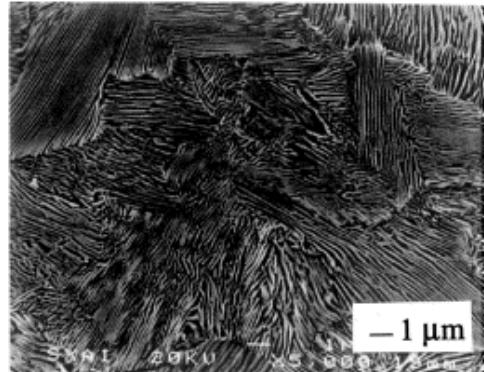
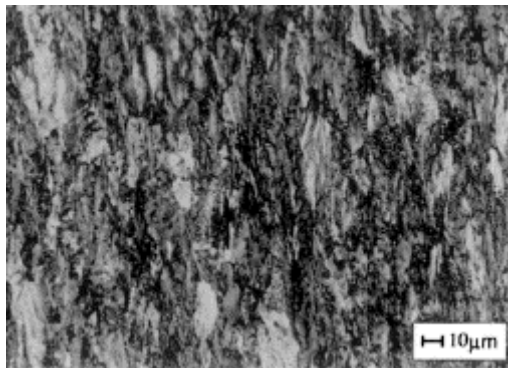
Coluna 2



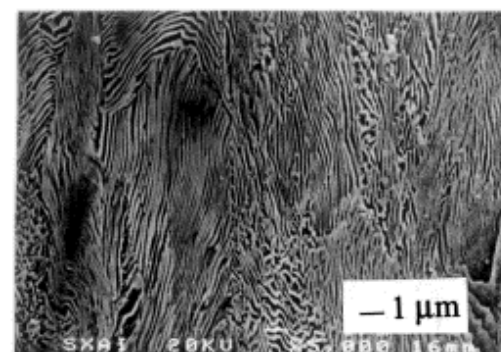
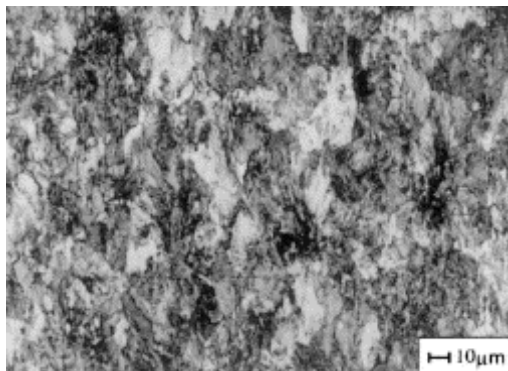
(a)



(b)



(c)



(d)

Direção de trefilação

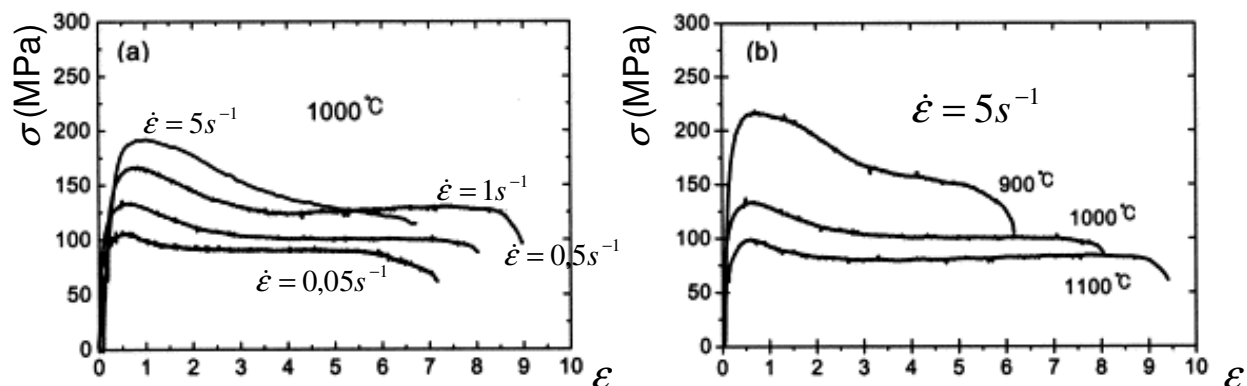


- esboce um gráfico dos limites de escoamento e de resistência em função da redução de área acumulada nos passes de trefilação.
- associe as micrografias das colunas 1 e 2, linhas (a) a (d), com os passes (0), (2), (4) e (6).
- a partir das respostas às questões a) e b) que análise pode ser feita sobre o comportamento desse aço ao longo dos passes de trefilação?

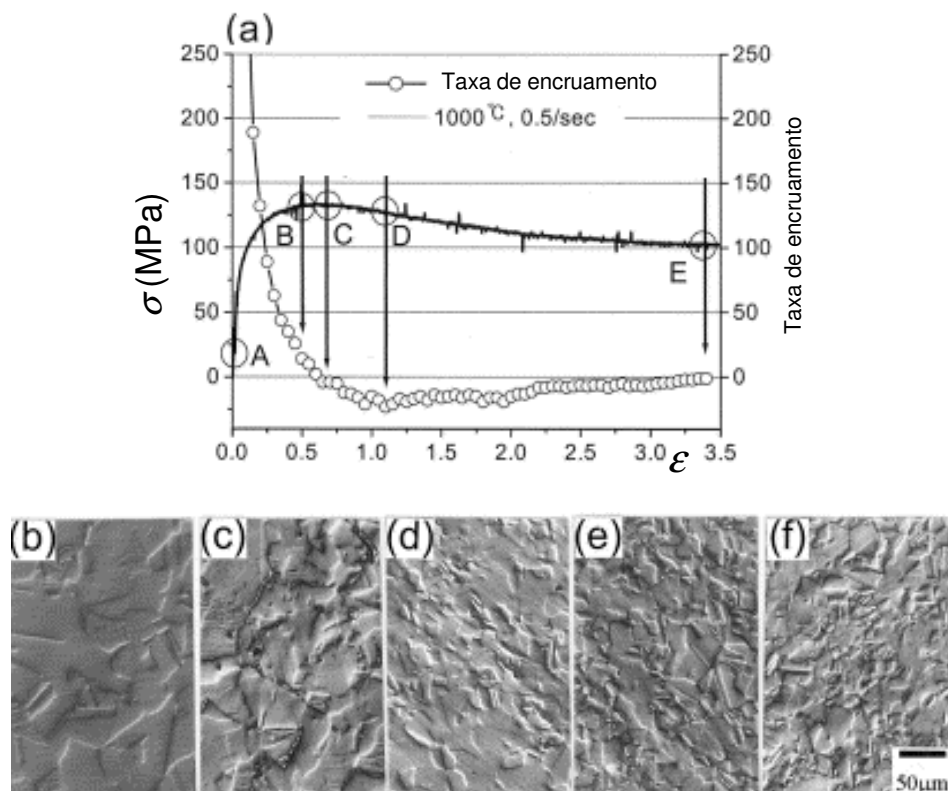
Esta prova é de caráter estritamente individual. O uso de material de consulta próprio é permitido. Procure sempre justificar suas respostas.

1) No artigo “*Dynamic recrystallization behavior of AISI 304 stainless steel*”, Sung-Il Kim and Yeon-Chul Yoo, *Materials Science and Engineering A*, Volume 311, Issues 1-2, 2001, Pages 108-113, os autores estudaram o comportamento do aço inoxidável austenítico AISI 304. Para tanto, foram realizados ensaios de torção a quente na faixa de temperaturas entre 900 e 1100 °C e para uma faixa de taxas de deformação entre 0,05 s⁻¹ e 5,0 s⁻¹.

A figura a seguir apresenta as curvas de escoamento obtidas para várias taxas de deformação a 1000 °C (a) e para várias temperaturas de ensaio com taxa constante de 0,5 s⁻¹ (b).



E na figura abaixo apresenta-se em (a) a curva de escoamento a 1000 °C na taxa $\dot{\epsilon} = 0,5 \text{ s}^{-1}$, bem como a curva da taxa de encruamento. Em (b) a (f) são apresentadas micrografias de corpos-de-prova resfriados bruscamente após atingirem os pontos A até E respectivamente.



Observando os gráficos (desconsidere a queda final de tensão) e micrografias apresentados, responda as questões:

- pode-se afirmar que ocorre recristalização dinâmica nas condições empregadas nos ensaios de torção?
- construa um gráfico do pico de deformação crítica para recristalização a partir das informações dos dois gráficos da primeira figura. Como essa deformação crítica se comporta em relação à variação de temperatura e de taxa de deformação? Como esse comportamento afeta a recristalização dinâmica?
- analise a segunda figura relacionando a ocorrência de recristalização dinâmica, com a taxa de encruamento e as micrografias apresentadas.

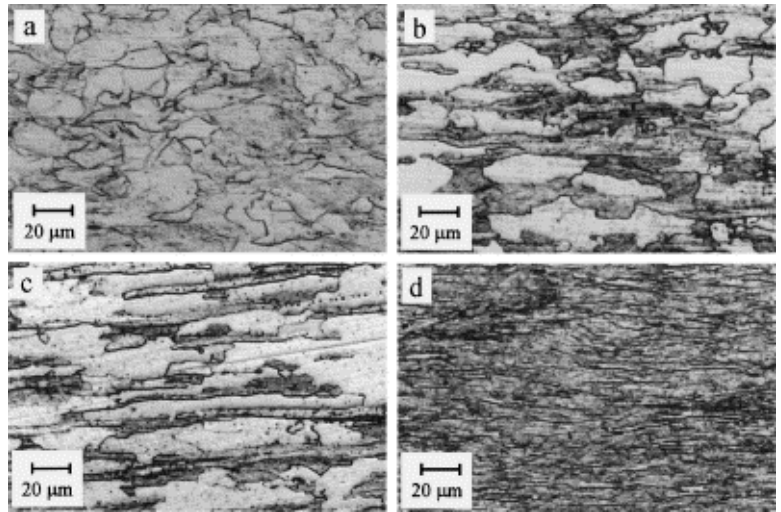
2) No artigo “Annealing softening mechanisms operating in cold worked oxide-bearing steels”, A. Belyakov, Y. Sakai, T. Hara, Y. Kimura and K. Tsuzaki, *Scripta Materialia*, Volume 48, Issue 10, May 2003, Pages 1463-1468, os autores estudaram os mecanismos de amolecimento em aços para mancais com teores variados de oxigênio.

Para tanto foram analisadas as micrografias de corpos-de-prova submetidos às seguintes condições:

- 0,2 ou 0,6% de oxigênio em massa;
- recozimento prévio por 25 minutos a 1000 °C, com resfriamento lento obtendo grãos com tamanho entre 12 e 15 μm e partículas dispersas de óxidos com tamanho próximo dos 20 nm;
- ensaios de compressão a frio, com reduções totais de altura de 30, 70 ou 85%;
- recozimento por uma hora a 700 ou 800 °C.

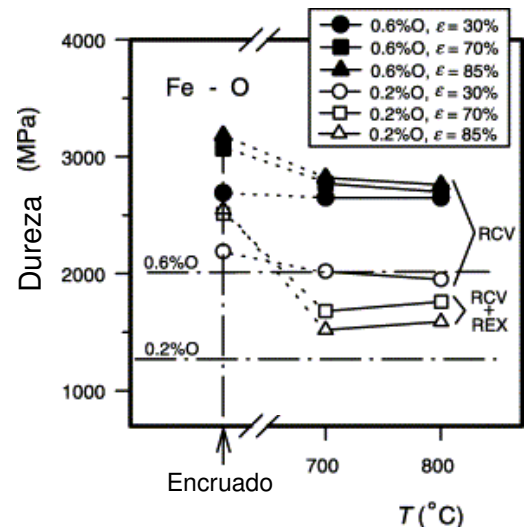
A figura ao lado apresenta as micrografias obtidas após esses tratamentos para o aço trabalhado a frio e recozido a 700 °C. Observe a legenda abaixo com informações sobre a quantidade de oxigênio e a redução de altura realizada a frio antes do recozimento.

- | | |
|-----|-----------------------------------|
| (a) | 0,2% de oxigênio e 30% de redução |
| (b) | 0,2% de oxigênio e 70% de redução |
| (c) | 0,2% de oxigênio e 85% de redução |
| (d) | 0,6% de oxigênio e 85% de redução |



Também é apresentada a figura ao lado que relaciona a dureza final dos cdps após as diversas condições de ensaio, bem como as durezas iniciais dos aços com 0,2 e 0,6% de oxigênio.

Legenda:	
—	dureza inicial
RCV	recuperação
REX	recristalização



Os autores afirmam que somente observaram recristalização nas condições das micrografias (b) e (c), que confirmaram no gráfico da dureza indicando as condições RCV e REX.

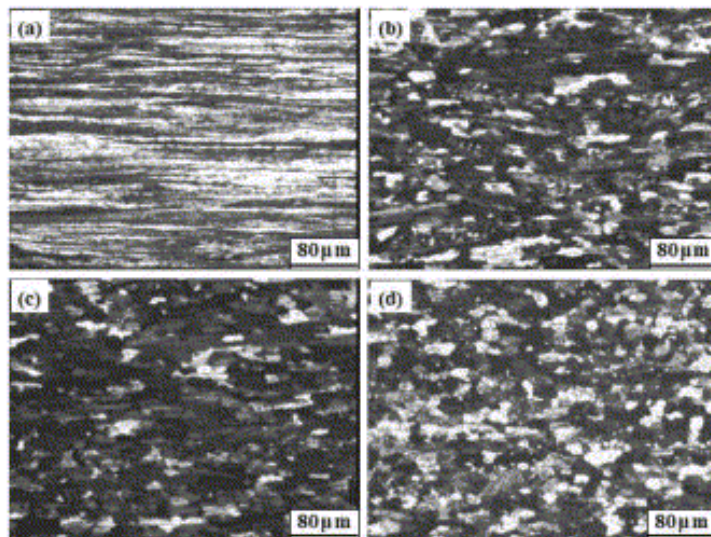
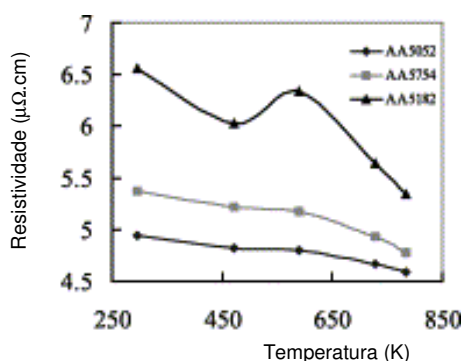
Observando o gráfico e as micrografias responda as questões:

- quais mecanismos de amolecimento podem estar presentes nas condições de ensaio para as micros (a) e (d)?
- por quê todos os mecanismos de amolecimento observados nesses ensaios são considerados estáticos?
- o que no material ensaiado pode impedir que ocorra a recristalização para as condições de ensaio da micrografia (a)? E para o caso da micrografia (d)?

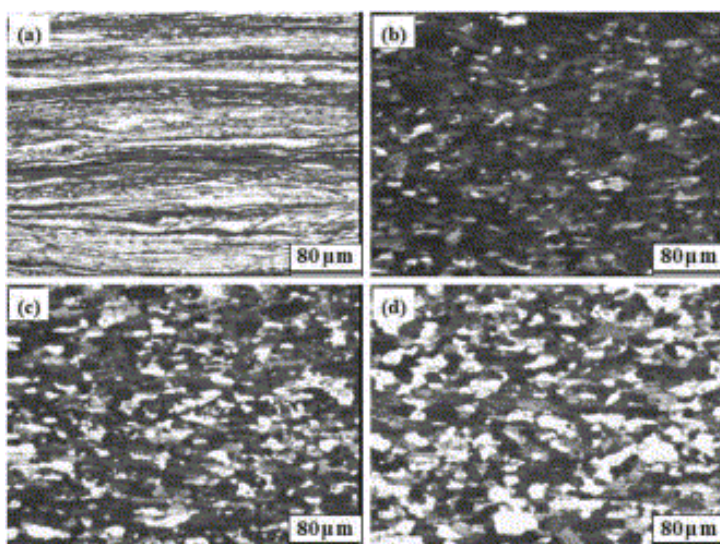
3) No artigo “An investigation of serrated yielding in 5000 series aluminum alloys”, Wei Wen e J. G. Morris, *Materials Science and Engineering A* (a ser publicado), os autores apresentam um estudo sobre o escoamento de três ligas de alumínio da série 5000 (AA5052, AA5754 e AA5182). Essas ligas foram tratadas termicamente para solubilização a 769 K por 4 horas, posteriormente laminadas a frio com 80% de redução da espessura e posteriormente recozidas a 472 K (a), 589 K (b), 727 K (c) e 783 K (d) por 4 horas. Essas ligas apresentam a seguinte composição química (% em peso):

Alloys	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr
AA5052	2.470	0.196	0.472	0.032	0.075	0.203
AA5754	2.854	0.095	0.239	0.028	0.316	0.011
AA5182	4.351	0.084	0.218	0.044	0.327	0.001

As micrografias ao lado representam a microestrutura desses materiais após solubilizadas, laminadas e recozidas. Também apresentam a variação de resistividade elétrica observada para os materiais ensaiados, como mostrado a seguir.

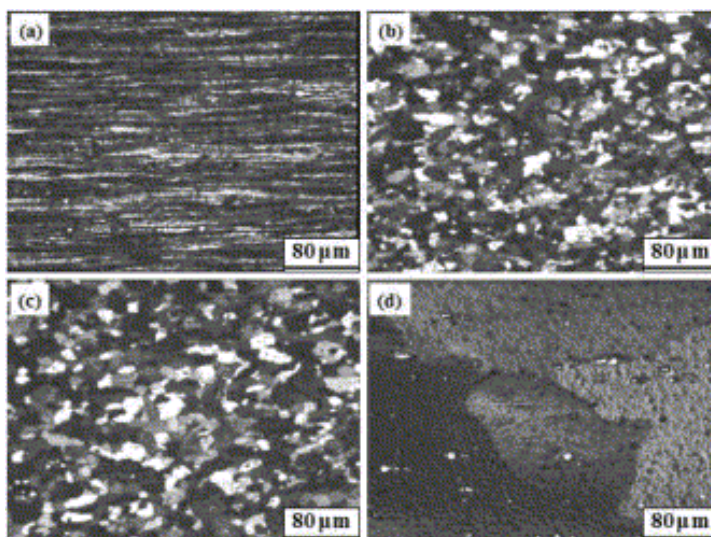


Micrografias da liga AA5052



Micrografias da liga AA5754

- considerando as micrografias apresentadas, quais os possíveis mecanismos de amolecimento presentes para cada temperatura de recozimento? Esses mecanismos são dinâmicos ou estáticos?
- as três ligas apresentam comportamentos distintos quando recozidas após deformadas a frio. Qual delas recristaliza mais facilmente? Quais as possíveis causas para essa diferença de comportamentos?
- o gráfico de variação de resistividade é coerente com as conclusões efetuadas a partir da análise das micrografias?



Micrografias da liga AA5182