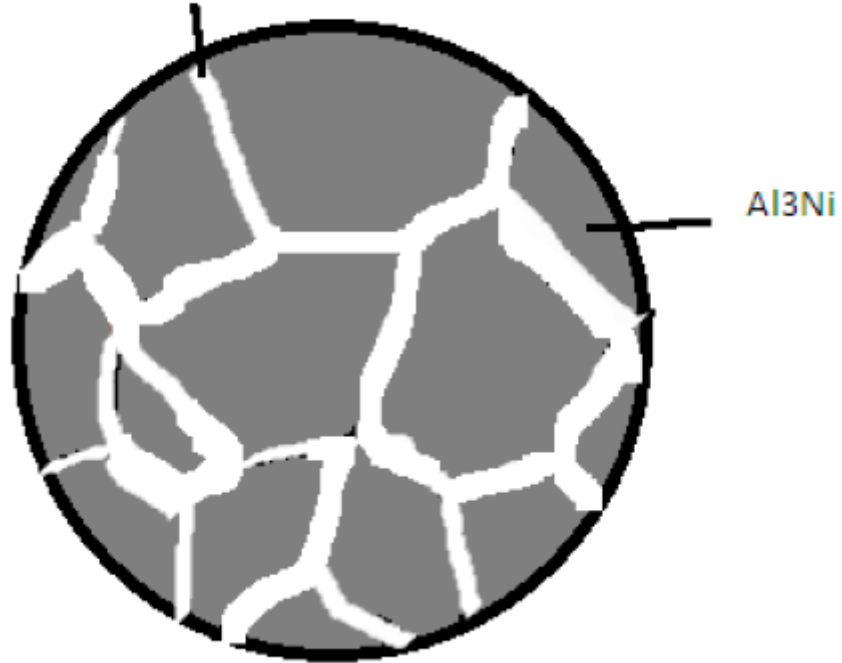


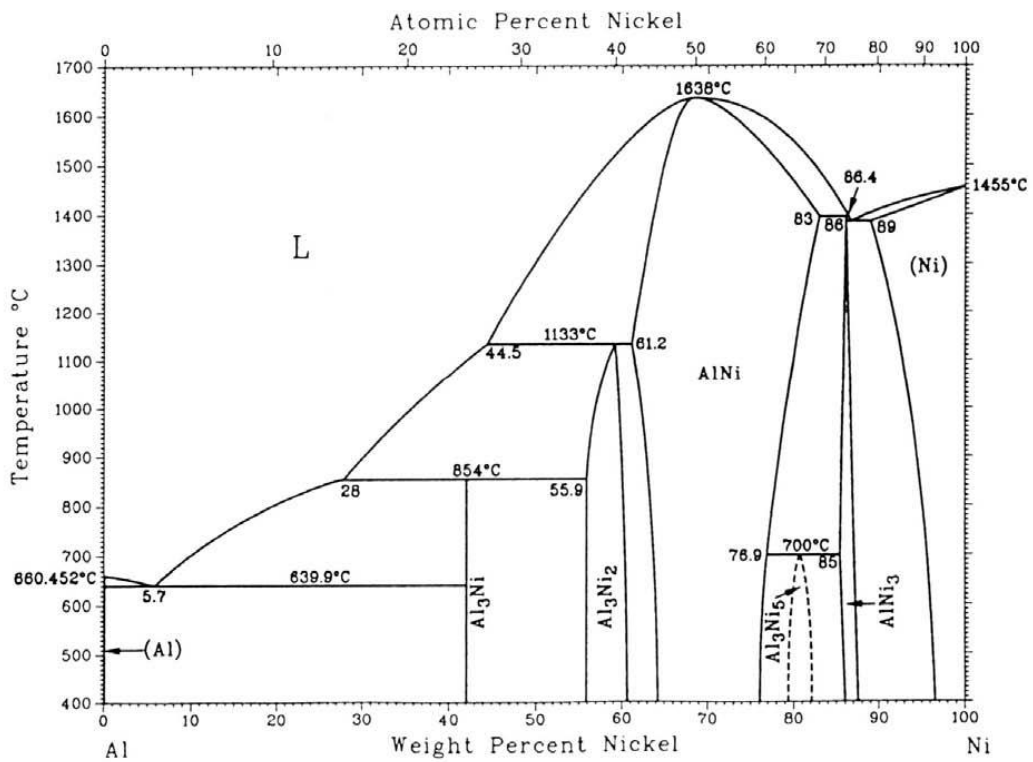
**PMT3100**  
**LISTA DE EXERCÍCIOS**  
**DIAGRAMAS DE EQUILÍBRIO**

1. Considere o diagrama de equilíbrio de fases alumínio-níquel (Al-Ni).
  - a. Enuncie três transformações isotérmicas (de tipos diferentes) dentre as que o diagrama apresenta, indicando as temperaturas que ocorrem, a composição química de cada uma das fases e a designação por que são conhecidas.
    - Fusão do Al em 100% Al e 660,452°C
    - Reação eutética em 5,7%Ni e 639,9°C:  $L=Al+Al_3Ni$  (hipo)
    - Reação peritética em 60%Ni e 1133°C:  $L(44\%Ni)+AlNi(61,2\%Ni)=Al_3Ni_2$  (hiper)
  - b. Estude o resfriamento suficientemente lento para poder seguir o diagrama de equilíbrio, da liga Al-Ni 50% Ni (percentagem em peso), a partir do estado líquido
    - 1600°C: líquido
    - 1300°C: início da solidificação; começa a precipitar AlNi
    - 1133°C: reação peritética:  $L(44\%Ni)+AlNi(61,2\%Ni)=Al_3Ni_2$
    - 854°C: reação peritética:  $L(28\%Ni)+Al_3Ni_2(55,9\%Ni)=Al_3Ni$
    - Até Tamb:  $Al_3Ni_2(57,1\%)+Al_3Ni(42,9\%)$
  - c. Indique a temperatura de fim de solidificação e a composição química do último líquido a solidificar.
    - 854°C; líquido com 28%Ni
  - d. À temperatura de 854°C, indique as fases por que a liga é constituída, assim como as respectivas composições químicas e proporções das fases, distinguindo entre fases primárias e secundárias, se for o caso.
    - $L(28\%Ni, \text{ fase primária})+Al_3Ni_2(55,9\%Ni)$
  - e. À temperatura mais baixa do diagrama, indique as fases por que a liga é constituída, assim como as respectivas composições químicas e proporções das fases, distinguindo entre fases primárias e secundárias, se for o caso.
    - $Al_3Ni_2(57,1\%, \text{ fase primária})+Al_3Ni(42,9\%)$
  - f. Faça um esboço da microestrutura da liga à temperatura mais baixa indicada no diagrama e para liga com 35% Ni.
    - A liga em questão solidifica euteticamente. A quantidade de fase eutética, de acordo com a regra das alavancas será de 19,3%.

eutético Al<sub>3</sub>Ni+Al



## Al-Ni



2. Considere o diagrama de equilíbrio de fases ferro-cementita (Fe-Fe<sub>3</sub>C).
- Qual a importância deste diagrama de equilíbrio de fases em Engenharia de Materiais?
    - Ele mostra o equilíbrio entre as fases dos aços e dos ferros fundidos brancos
  - Defina corretamente os seguintes termos: ferrita- $\alpha$ , austenita e perlita.
    - Respectivamente, uma fase ccc (magnética), uma fase cfc (não magnética) e uma morfologia eutetóide ferrita+cementita lamelar
  - Enuncie todas as transformações isotérmicas que o diagrama apresenta, indicando as temperaturas a que ocorrem, as composições químicas das fases envolvidas e as designações por que são conhecidas.
    - Reação peritética a 1493°C a 0,16%C:  $L+\delta=\gamma$
    - Reação eutetóide a 723°C a 0,8%C:  $\gamma=(\alpha+Fe_3C)_{lamelar}=perlita$
    - Reação eutética a 1148°C e 4,3%C:  $L=\gamma+Fe_3C=ledeburita$
    - Ponto de fusão do Fe a 1537°C
    - Fusão congruente da Fe<sub>3</sub>C

Considere o resfriamento, suficientemente lento para poder seguir-se o diagrama de equilíbrio, da liga Fe-C com 1,2%C (percentagem em peso) desde o estado líquido até à temperatura mais baixa indicada no diagrama.

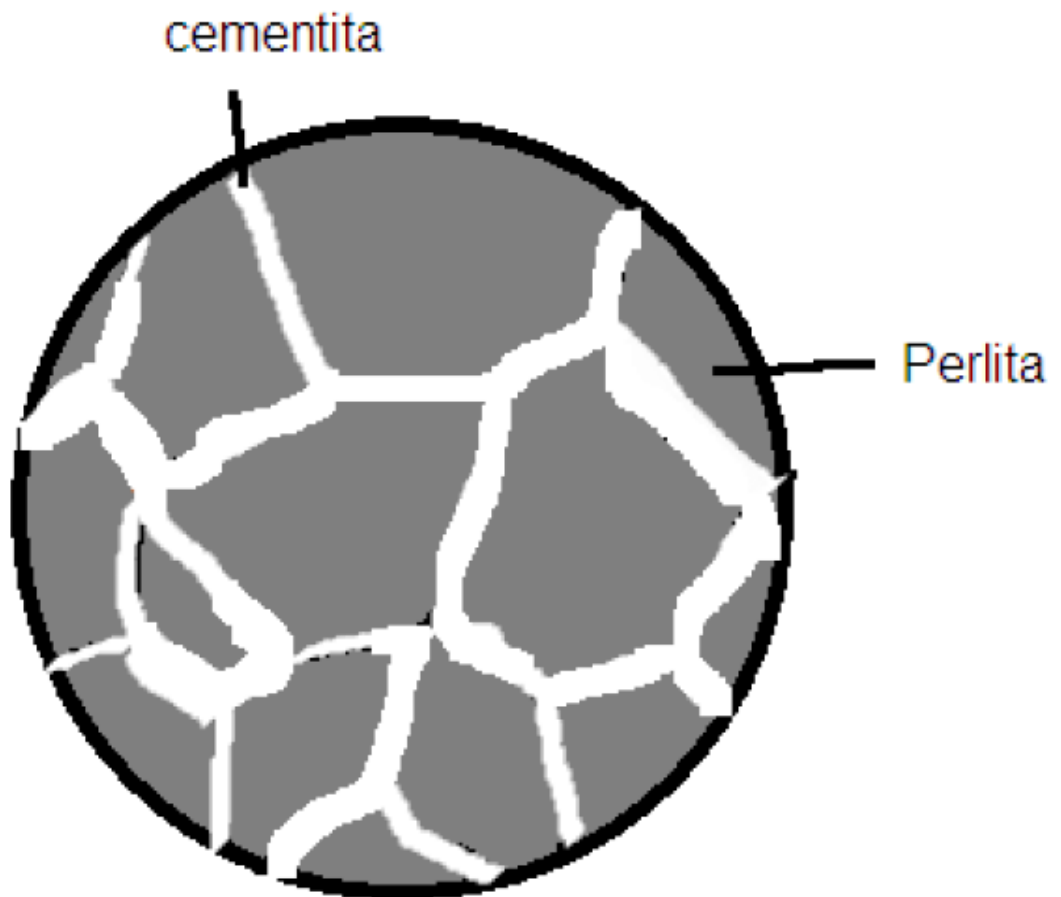
- Indique as temperaturas de início e de fim de solidificação, assim como as composições químicas dos primeiros núcleos sólidos e do último líquido a solidificar.
  - Início: ~1430°C
  - Fim: ~1300°C
  - Sólido: ~0,7%C
  - Líquido: ~2,6%C
- Indique as fases por que a liga é constituída à temperatura mais baixa do diagrama, assim como as respectivas composições químicas e proporções, em relação à massa total de liga, distinguindo entre fases primárias e secundárias, se for o caso.
  - $\alpha(82\%)+Fe_3C(18\%)$ ;  
Fe<sub>3</sub>C(primária)(6,8%)+( $\alpha+Fe_3C$ )perlita(93,2%)
  - $\alpha(\sim 0\%C)+Fe_3C(6,67\%C)$

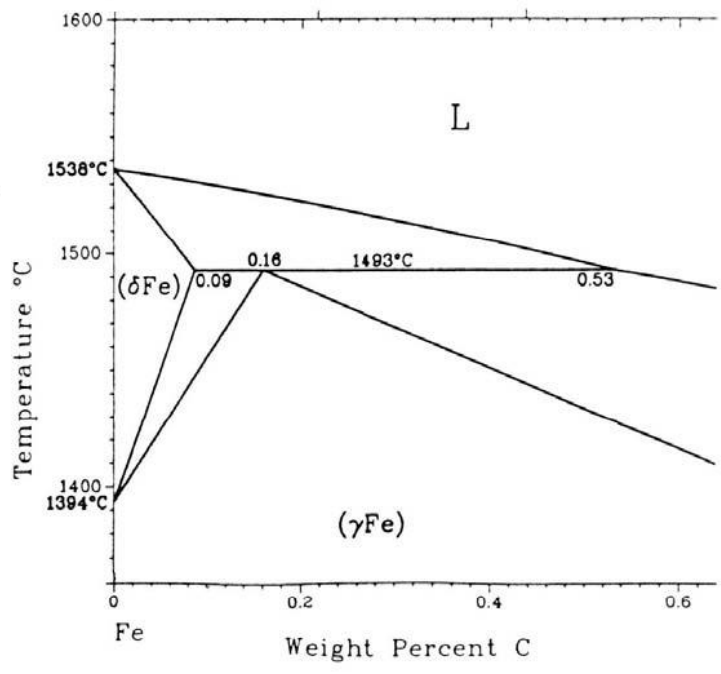
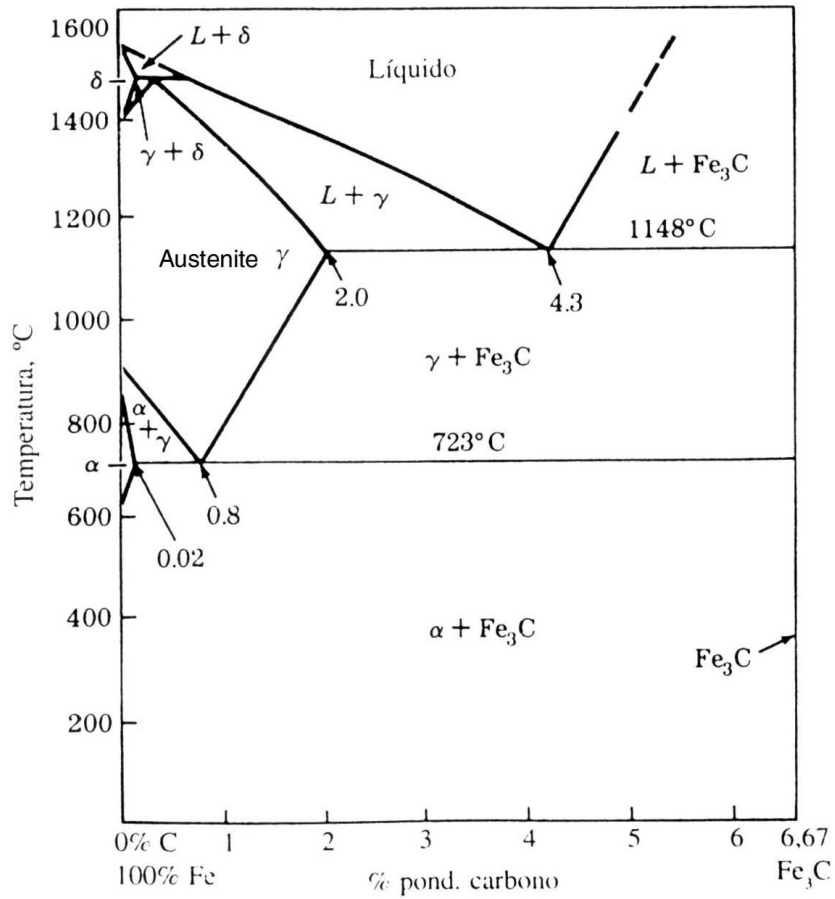
- Faça um esboço da microestrutura previsível para a liga nas condições do item e.

Considere o resfriamento, suficientemente lento para poder seguir-se o diagrama de equilíbrio, da liga Fe-C com 0,4%C (percentagem em peso) desde o estado líquido até à temperatura mais baixa indicada no diagrama.

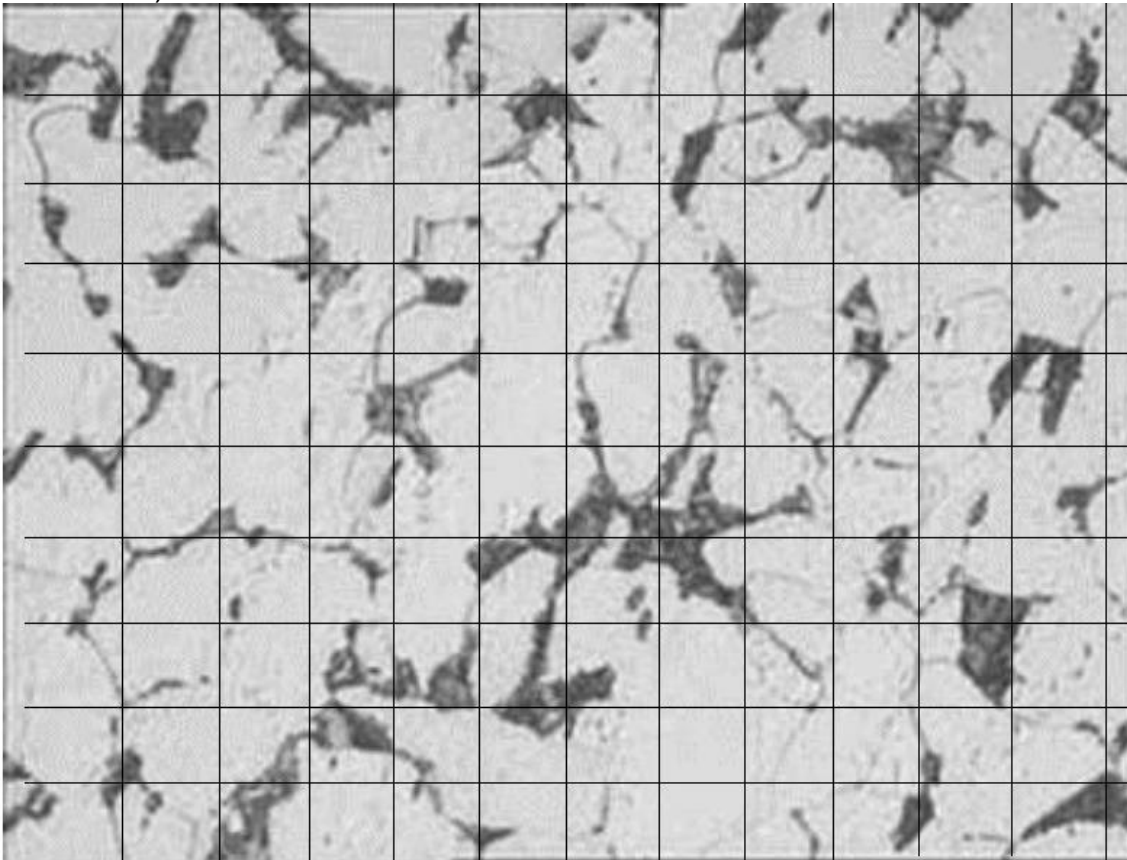
- Indique as temperaturas de início e de fim de solidificação, assim como as composições químicas dos primeiros núcleos sólidos e do último líquido a solidificar.
  - Início: ~1522°C
  - Fim: ~1493°C
  - Sólido: 0,09%C
  - Líquido: 0,53%C

- h. Indique as fases por que a liga é constituída à temperatura mais baixa do diagrama, assim como as respectivas composições químicas e proporções, em relação à massa total de liga, distinguindo entre fases primárias e secundárias, se for o caso.
- $\alpha(97\%)+Fe_3C(3\%)$ ;  $\alpha(\text{primária})(76,9\%) +(\alpha+Fe_3C)\text{perlita}(23,1\%)$
  - $\alpha(\sim 0\%C)+Fe_3C(6,67\%C)$  i
- i. Faça um esboço da microestrutura previsível para a liga nas condições do item h.





3. A partir da microestrutura do aço apresentada a seguir, determine a sua composição química (a região escura tem morfologia lamelar e a fase branca é ferrita).



- Grade  $13 \times 11 = 143$  pontos
- Perlita: 19 pontos, portanto 13,3% equivalendo a 0,124%C (regra das alavancas)

4. Numa liga eutética AB as composições das 3 fases do eutético são  $\alpha = 15\%B$ ,  $L = 75\%B$  e  $\beta = 95\%B$ . Supondo resfriamento em equilíbrio de uma liga consistindo de partes iguais de A e B logo após a temperatura do patamar, calcule:

- a. As % das fases;

Partes iguais de A e B significa 50% de A e de B. Assim, logo após o patamar há:

$$\% \alpha = (95 - 50) * 100 / (95 - 15) = 56,25\%$$

$$\% \beta = (50 - 15) * 100 / (95 - 15) = 100 - \% \alpha = 43,75\%$$

Em termos de morfologia da microestrutura tem-se:

$$\% \alpha \text{ (proeutética)} = (75 - 50) * 100 / (75 - 15) = 41,67\%$$

$$\% \text{eutético} = \% \text{liquido} = 100 - \% \alpha \text{ (proeutética)} = (50 - 15) * 100 / (75 - 15) = 58,33\%$$