

Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

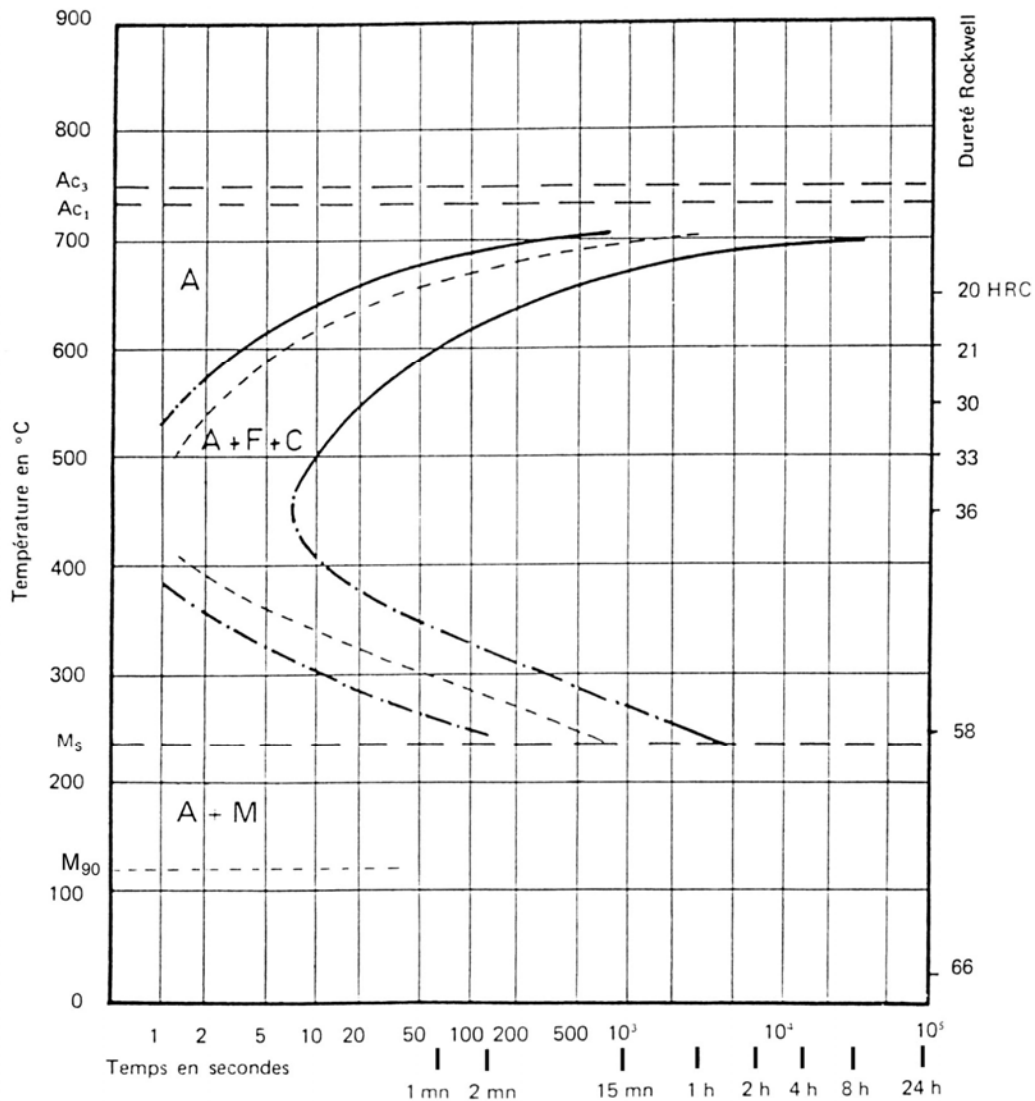
1. Esboce as curvas TTT (TI) de um aço hipereutectóide. Trace 3 curvas de arrefecimento que conduzam às seguintes microestruturas:
 - a) cementite + perlite
 - b) martensite
 - c) cementite + perlite + martensite

2. a) Faça um esboço de curvas TTT (TI) que correspondam a um aço hipoeutectóide e identifique todas as regiões do diagrama bem como as temperaturas que achar relevantes.
b) Nesse esboço trace curvas de arrefecimento que conduzam à formação das seguintes microestruturas:
 - 1) bainite
 - 2) 100 % martensite
 - 3) ferrite proeutectóide e perlite
 - 4) ferrite proeutectóide, perlite e martensite
 - 5) ferrite proeutectóide, perlite, martensite e austenite

3. Desenhe as curvas TTT-AC para um aço eutectóide e nele represente curvas de arrefecimento que dêem origem às seguintes estruturas:
 - a) martensite
 - b) martensite e perlite
 - c) perlite fina
 - d) perlite grosseira

Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

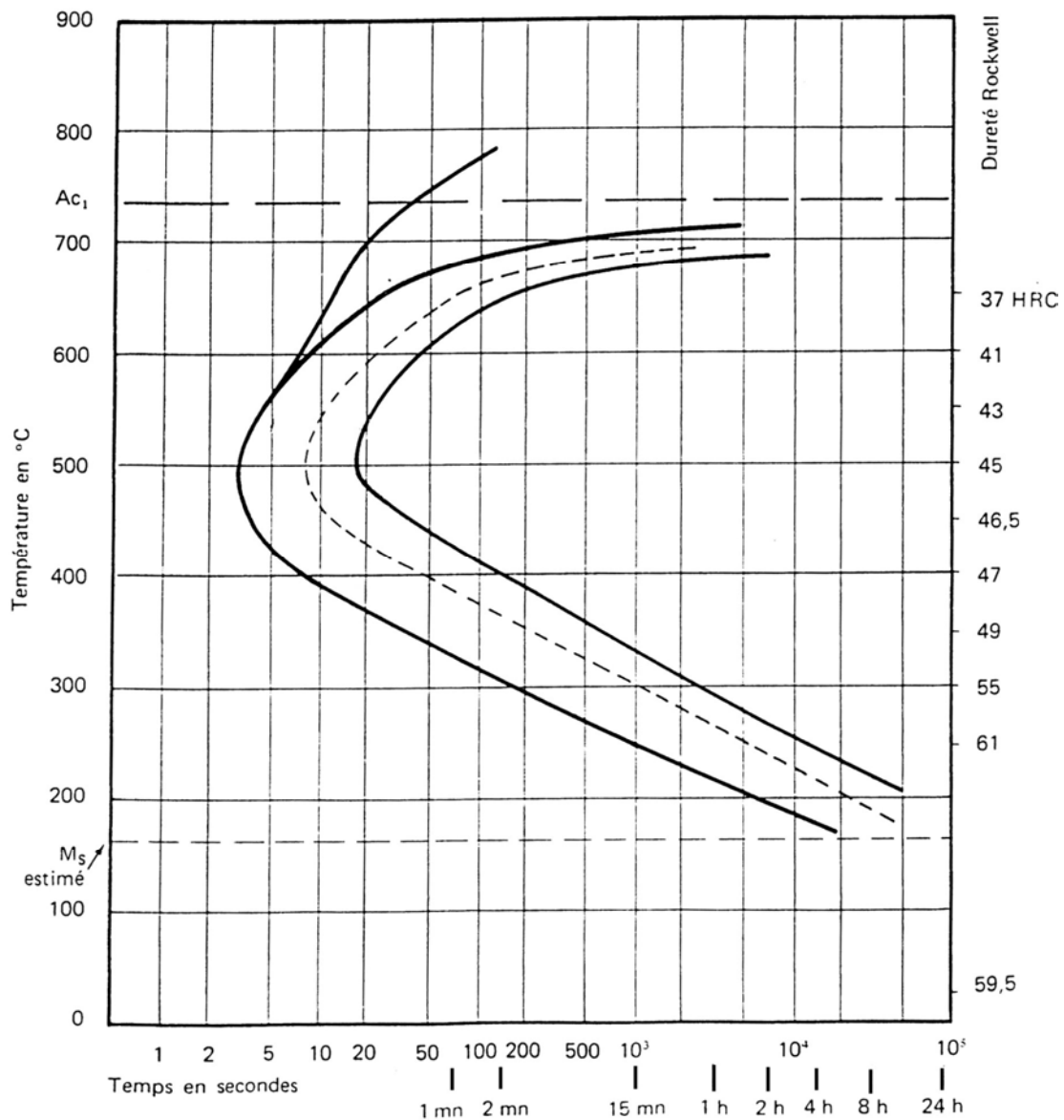
4. Peças de um aço com 0,77% C (eutectóide) são aquecidas durante 1 hora a 850 °C e depois são submetidas aos tratamentos térmicos da lista abaixo indicada. Usando o diagrama TTT-TI da figura determine a microestrutura das peças após cada tratamento.
- Têmpera em água até à temperatura ambiente
 - Arrefecimento em banho de sais até 680 °C, manutenção durante 2 horas, seguida de arrefecimento em água.
 - Arrefecimento em banho de sais até 570 °C, manutenção durante 3 minutos, seguida de arrefecimento em água.
 - Arrefecimento em banho de sais até 550 °C, manutenção durante 3 segundos, seguida de arrefecimento em água.
 - Arrefecimento em banho de sais até 400 °C, manutenção durante 1 hora, seguida de arrefecimento em água.
 - Arrefecimento em banho de sais até 300 °C, manutenção durante 1 minuto, seguida de arrefecimento em água.
 - Arrefecimento em banho de sais até 300 °C, manutenção durante 2 horas, seguida de arrefecimento em água.



Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

5. Na figura encontram-se representadas as curvas TTT-TI de transformação da austenite de um aço hipereutectóide.

- a) Indique quais as fases presentes em cada uma das regiões do diagrama.
- b) Trace curvas de arrefecimento correspondentes a um recozimento e a uma têmpera em água. Que microestruturas obteria em cada um dos casos?
- c) No caso da peça temperada ser aquecida novamente até à temperatura de 200 °C e mantida a essa temperatura durante 2 horas, quais as alterações que se verificariam na sua microestrutura?



Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

6. a) Esboce o diagrama TTT-TI (transformação isotérmica) dum aço-carbono eutectóide. Esboce em seguida (preferencialmente: imediatamente abaixo) o diagrama TTT-TC (transformação contínua) do mesmo aço. Saliente quais as principais diferenças. Marque, no diagrama adequado a cada caso, linhas de arrefecimento que conduzam às seguintes microestruturas:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1) 50 % bainite superior + martensite; | 2) 50 % perlite fina + martensite; |
| 3) austenite + martensite + perlite grosseira; | 4) bainite inferior. |

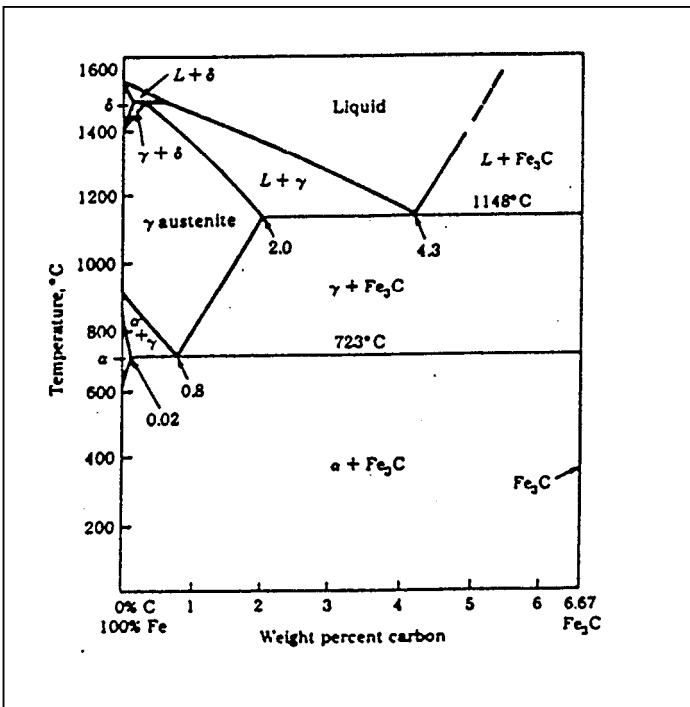
b) Explique o formato em forma de “C” das curvas TTT-TI associadas à transformação eutectóide dos aços-carbono. Refira-se explicitamente aos dois fenómenos (que ocorrem à escala atómica) que permitem explicar esse comportamento.

7. a) Esboce o diagrama TTT-TI (transformação isotérmica) dum aço-carbono hiper-eutectóide. Esboce em seguida (preferencialmente: imediatamente abaixo) o diagrama TTT-TC (transformação contínua) do mesmo aço. Saliente quais as principais diferenças.

b) Marque, no diagrama TTT-TI da alínea anterior, linhas de arrefecimento que conduzam às seguintes microestruturas:

- | | |
|--|--|
| 1) cementite + perlite grosseira; | 2) 50 % bainite superior + martensite; |
| 3) austenite + martensite + cementite + perlite; | 4) cementite + martensite. |

8. Considere o diagrama de equilíbrio (metaestável) de fases Fe-Fe₃C. Para um aço com 1,2 %C:



a) Estude o arrefecimento – suficientemente lento para poder ser considerado o diagrama de fases– dessa liga desde o estado líquido, indicando:

1. a temperatura de início de solidificação e a composição dos primeiros núcleos de sólido;
2. a temperatura de fim de solidificação e a composição do último líquido a solidificar;
3. a composição e proporção (percentagem) das fases presentes em cada uma das seguintes temperaturas: 1148°C, 723 °C, 25 °C.

b) Faça um esboço da microestrutura a 25 °C (temperatura ambiente). Justifique.

c) Faça um esboço do diagrama TTT-TC (transformação contínua)

desse aço, identificando as várias regiões do respectivo diagrama, bem como valores relevantes de temperatura.

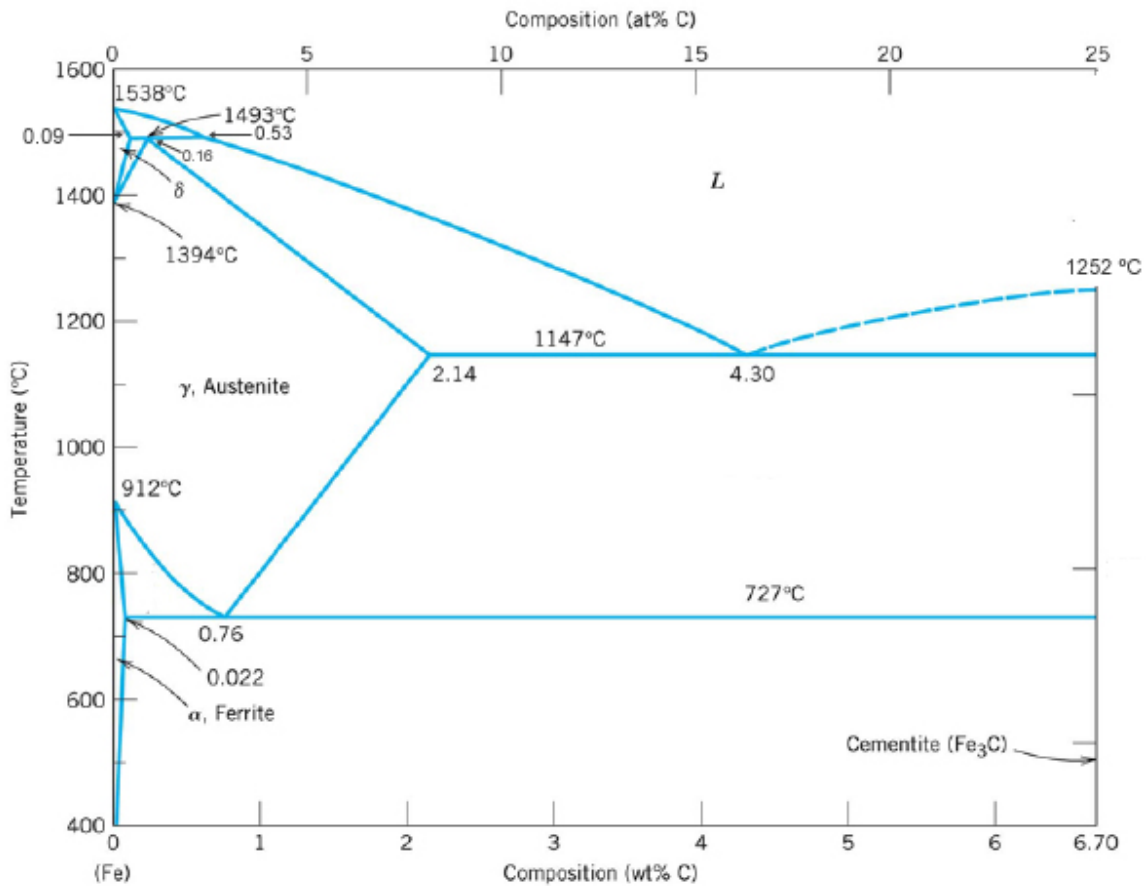
d) Num esboço igual ao da alínea anterior, represente arrefecimentos que conduzam a:

1. perlite grosseira + cementite pró-eutectóide.
2. martensite.
3. bainite inferior.
4. perlite fina + martensite + cementite pró-eutectóide.

Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

9. Considere o diagrama de equilíbrio (metaestável) de fases Fe-Fe₃C.

a) Enuncie três transformações isotérmicas de tipos diferentes, indicando as composições das fases envolvidas, as temperaturas a que ocorrem, e as designações por que são conhecidas.



b) Para um aço com 0,55 %C, estude o arrefecimento –suficientemente lento para poder ser considerado o diagrama de fases– dessa liga desde o estado líquido, indicando:

- i) a temperatura de início de solidificação e a composição dos primeiros núcleos de sólido;
- ii) a temperatura de fim de solidificação e a composição do último líquido a solidificar;
- iii) a composição e proporção (percentagem) das fases presentes em cada uma das seguintes temperaturas: 1200°C, 727 °C, 25 °C (extrapole o comportamento do diagrama até à temperatura ambiente).
- iv) Faça um esboço da microestrutura a 25 °C . Justifique. Legende a figura.

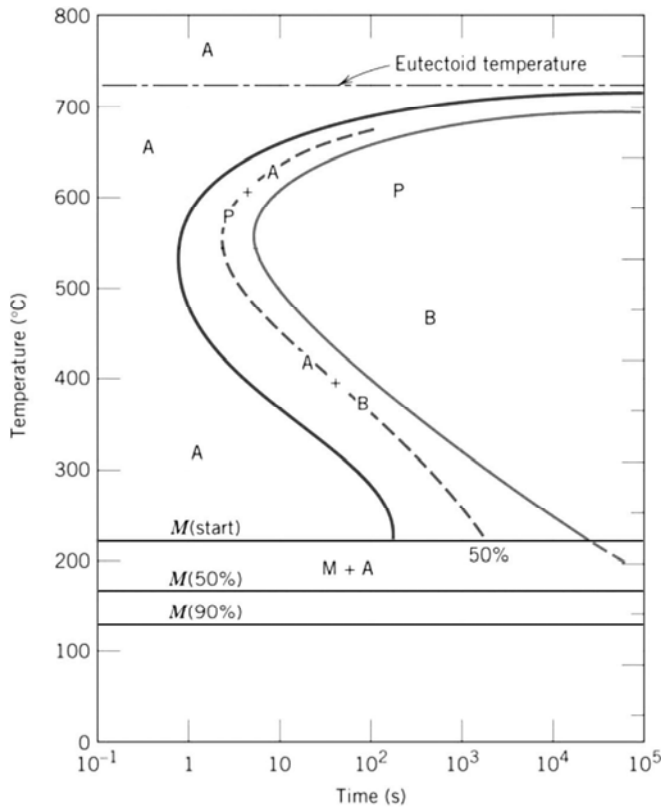
c) Faça um esboço do diagrama TTT-AC (arrefecimento contínuo) do aço da alínea anterior. (Nota: nos casos em que tenha informação disponível para isso, identifique valores concretos de temperatura). Marque nesse diagrama uma linha de arrefecimento compatível com o arrefecimento estudado na alínea b).

d) Num esboço diferente mas semelhante ao da alínea c), represente se possível*, linhas de arrefecimento que conduzam às seguintes microestruturas (*justificando por escrito os casos de impossibilidade):

1. perlite grosseira + cimento pró-eutectóide.
2. martensite.
3. bainite superior.
4. perlite fina + martensite + ferrite pró-eutectóide.

Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

10. Considere o diagrama TTT-TI de um aço-carbono representado na figura junta.



a) De que tipo de aço se trata?

b) Considere que peças desse aço são austenitizadas a 800 °C durante 1h e depois submetidas aos tratamentos descritos abaixo. Para cada um desses casos marque as curvas de arrefecimento e indique a microestrutura final após o tratamento térmico:

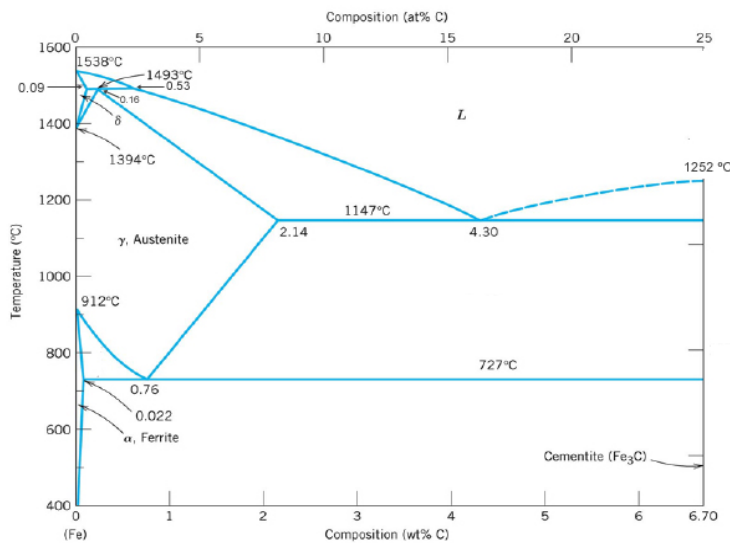
- i) arrefecimento rápido em água, de modo a que a temperatura é 20 °C ao fim de 0.5 s.
- ii) arrefecimento rápido até aos 600°, manutenção durante 2 minutos, seguido de arrefecimento até aos 20 °C.
- iii) arrefecimento rápido até aos 450°, manutenção durante 10 s, seguido de arrefecimento até aos 20 °C.
- iv) arrefecimento rápido até aos 300°, manutenção durante 3 horas, seguido de arrefecimento até aos 20 °C.

c) Que nomes têm os tratamentos térmicos **b)i)** e **b)iv)**? Que tratamento se segue habitualmente ao tratamento **b)i)**? Qual o objectivo desse tratamento posterior?

d) Reescreva a seguinte frase, usando os termos mais correctos/adequados.

“A bainite é uma fase lamelar constituída por martensite e austenite”

11. a) Considere o diagrama de equilíbrio (metaestável) de fases Fe-Fe₃C. Calcule a composição do aço que apresenta na sua microestrutura de equilíbrio, à temperatura ambiente, uma percentagem (em peso) de 60% de ferrite primária (i.e., pro-eutectóide).



b) Faça um esboço do diagrama TTT-TI (transformação isotérmica) do aço com 1.1% C (Nota: nos casos em que tenha informação disponível para isso, identifique valores concretos das temperaturas notáveis).

c) Num esboço diferente mas semelhante ao da alínea b), represente se possível*, linhas de arrefecimento que conduzam às seguintes microestruturas (*justificando por escrito os casos de impossibilidade):

- 1) perlite grosseira + cementite pró-eutectóide.
- 2) martensite + austenite (residual)
- 3) bainite superior.
- 4) perlite fina + ferrite pró-eutectóide.

Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

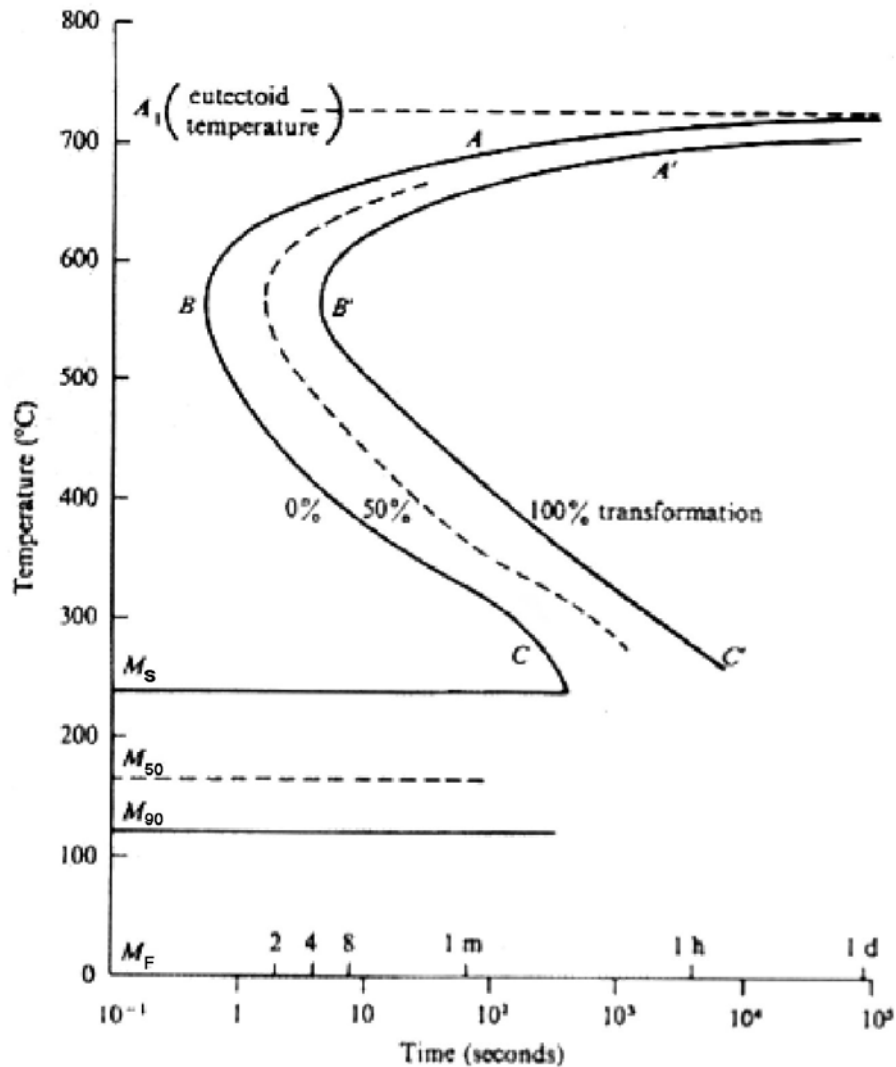
12. Considere as curvas TTT-TI de transformação da austenite de um aço-carbono representadas na figura junta.

a) O que pode concluir acerca do teor em carbono do aço?

b) No caso do aço ser aquecido a uma temperatura superior a 723 °C e de seguida submetido ao seguinte arrefecimento:

- arrefecimento rápido até 600 °C,
- manutenção a 600 °C durante 2 segundos,
- arrefecimento rápido até 350 °C
- manutenção a 350 °C durante 1000 segundos
- arrefecimento rápido até à temperatura ambiente,

qual a microestrutura que se obteria à temperatura ambiente? Faça um esboço dessa microestrutura.



Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

13. a) Considere os seguintes tratamentos térmicos realizados em peças de um aço eutectóide: 1) têmpera martensítica, 2) têmpera e revenido; 3) martêmpera, 4) austêmpera. Sabe-se que as peças têm espessura não desprezável. Trace, em diagramas TTT-TI separados, curvas de arrefecimento para cada um desses tratamentos. Indique claramente, em cada um desses diagramas, qual a curva de arrefecimento que corresponde ao interior e qual a que corresponde à superfície da peça.

b) Reescreva as seguintes frases, usando os termos mais correctos/adequados.

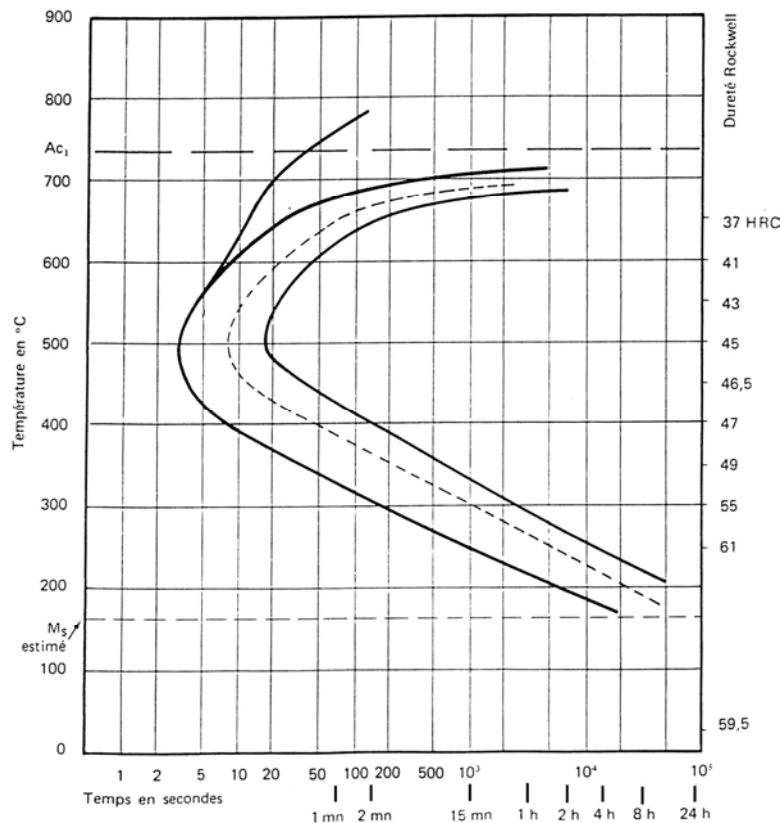
“O revenido é um tratamento mecânico cujo objectivo é aumentar a rigidez do material. Do ponto de vista microscópico, dá-se um processo de difusão, pelo qual os átomos de carbono abandonam a cementite, agregando-se na forma de carburantes”

Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

14. Na figura encontram-se representadas as curvas TTT de transformação isotérmica da austenite de um aço hipereutectóide.

a) Indique no enunciado quais as fases presentes em cada uma das regiões do diagrama.
b) Peças desse aço são aquecidas durante 1 hora a 900 °C e depois são submetidas aos tratamentos térmicos da lista abaixo indicada. Usando o diagrama TTT-TI da figura, determine a microestrutura das peças após cada tratamento. Nota: marque as respectivas curvas de arrefecimento no diagrama fornecido.

- 1) Têmpera em água até à temperatura ambiente
- 2) Arrefecimento em banho de sais até 700 °C, manutenção durante 1 min., seguida de arrefecimento em água até à temperatura ambiente
- 3) Arrefecimento em banho de sais até 680 °C, manutenção durante 200 s, seguida de arrefecimento em água até à temperatura ambiente
- 4) Arrefecimento em banho de sais até 520 °C, manutenção durante 15 min., seguida de arrefecimento em água até à temperatura ambiente.
- 5) Arrefecimento em banho de sais até 500 °C, manutenção durante 100 s, seguida de reaquecimento a 900 °C durante 1h, seguida de arrefecimento em água até à temperatura ambiente.
- 6) Arrefecimento em banho de sais até 300 °C, manutenção durante 15 min., seguida de arrefecimento em água até à temperatura ambiente

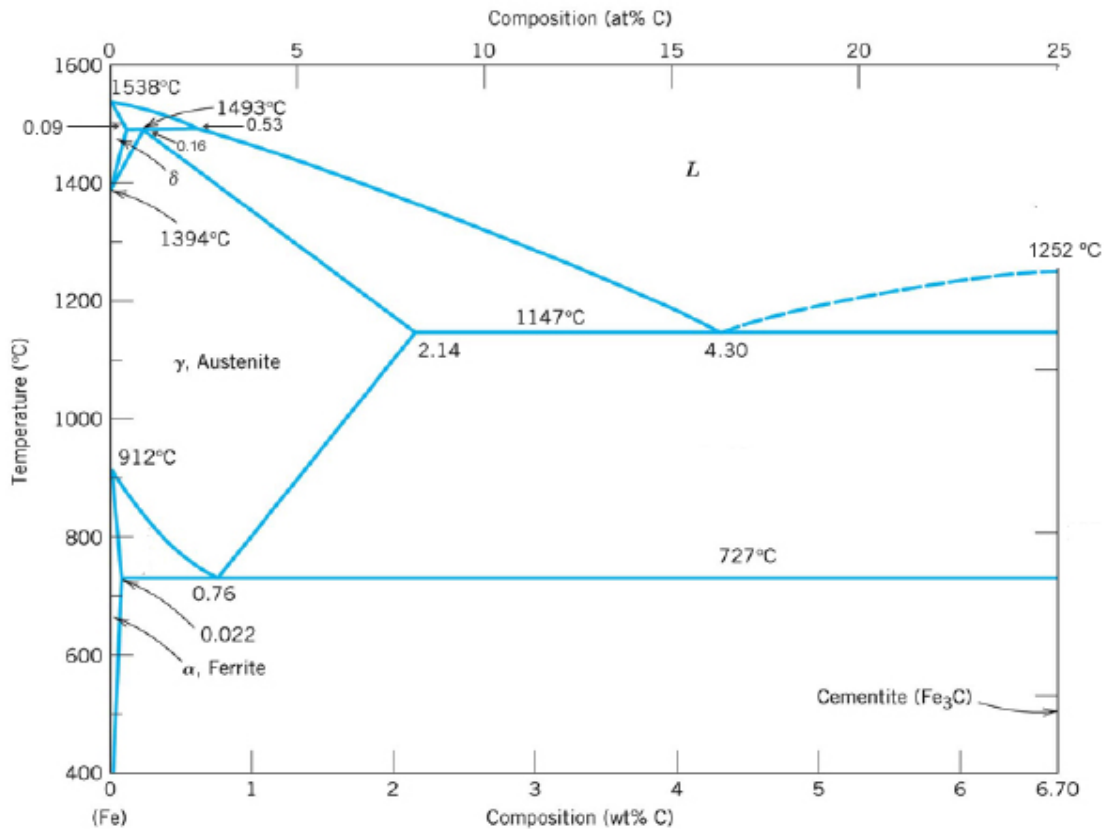


c) Esboce, de forma qualitativa, as curvas TTT-AC para um aço eutectóide. Em seguida, marque curvas de arrefecimento que correspondam aos seguintes tratamentos: **i)** têmpera em água; **ii)** têmpera em óleo; **iii)** normalização; **iv)** recozimento completo. Finalmente, indique quais as microestruturas finais, à temperatura ambiente, após cada um desses tratamentos.

Ciência de Materiais. LEGI. Ano lectivo 2009-2010.
CINÉTICA DAS TRANSFORMAÇÕES DE FASES E TRATAMENTOS TÉRMICOS

15. Considere o diagrama de equilíbrio (metaestável) de fases Fe-Fe₃C.

a) Enuncie quatro transformações isotérmicas de tipos diferentes, duas bifásicas e duas trifásicas, indicando as designações por que são conhecidas, as composições das fases envolvidas e as temperaturas a que ocorrem.



b) Para um aço com 1.0 %C, estude o arrefecimento –suficientemente lento para poder ser considerado o diagrama de fases– dessa liga desde o estado líquido, indicando:

- i)** a temperatura de início de solidificação e a composição dos primeiros núcleos de sólido;
- ii)** a temperatura de fim de solidificação e a composição do último líquido a solidificar;
- iii)** a composição e proporção das fases presentes em cada uma das seguintes temperaturas: 1147°C, 728 °C, 727 °C.

iv) Faça um esboço da microestrutura a 25 °C. Justifique. Legende a figura. Indique as proporções dessas fases, distinguindo entre fases primárias e secundárias, se fôr caso disso.

c) i) Considere uma amostra do aço da alínea anterior, que é arrefecida rapidamente, em condições de não-equilíbrio, desde os 1600 °C até aos 1100 °C. Faça um esboço da microestrutura que se obtém no instante em que se atinge os 1100 °C.

ii) Considere que a temperatura é mantida a 1100 °C durante 2h (intervalo de tempo suficientemente longo, de forma a que a difusão possa ocorrer de forma plena). Faça o esboço da microestrutura que pode ser observada ao fim dessas 2h.

iii) Que nome daria ao tratamento descrito na subalínea **ii)**?

