LFS

PME 3430

Materiais para Construção Mecânica

Profs. Drs.: Newton K. Fukumasu, Deniol K. Tanaka & Amilton Sinatora

Referências:

CALLISTER, William D., *Materials science and engineering: an introduction*. 8ed. New York: John Wiley, 2009. 122p. ISBN-13: 978-0-471-73696-7

MEYERS, M. A. & Chawla K. K. Mechanical Behavior of Materials. Prentice Hall, 1999, 680. ISBN 0-13-262817-1 2

newton.fukumasu@usp.br

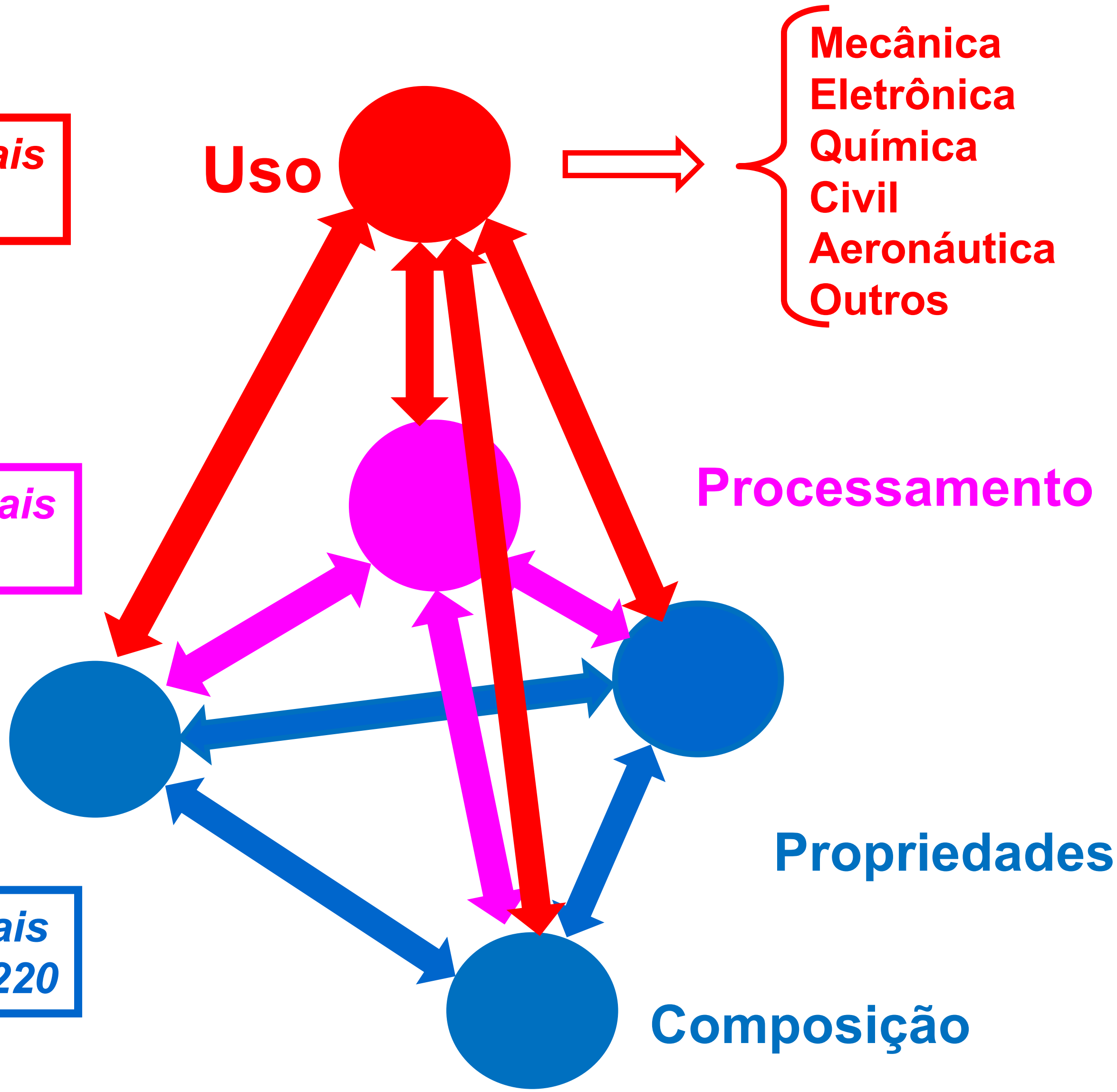
LFS

Ciência, engenharia e seleção de materiais

Seleção de materiais
PME-3431

Engenharia de materiais
PME-3430

Ciência de materiais
PQI-3120 e PME-3220



Material

newton.fukumasu@usp.br

Cronograma de Atividades – 1º Semestre 2017
Proposta – 2

Aula	Data	Tópico do Programa
01	08/03	Apresentação da disciplina, critérios de avaliação e revisão de conceitos
02	15/03	Definição dos temas de trabalho e revisão de conceitos
03	22/03	Processamento de ligas metálicas (fundição)
04	29/03	Processamento de ligas metálicas (laminação e forjamento)
05	05/04	Tratamento térmico de ligas metálicas (diagrama TTT)
-	12/04	SEMANA SANTA – Não haverá aula
06	19/04	Tratamento de superfícies de ligas metálicas (químico e mecânico)
07	26/04	Processamento de polímeros (polimerização, borrachas e vulcanização)
08	03/05	Polímeros avançados (vítreos, piezos)
09	10/05	PROVA – P1 e entrega de TRABALHOS – T1
10	17/05	Processamento de cerâmicas (fundição e sinterização)
11	24/05	Processamento de cerâmicas (tratamento térmico)
12	31/05	Cerâmicas avançadas (piezos e termo-elétricos)
13	07/06	Recobrimentos cerâmicos (carbonetos, nitretos, óxidos)
14	14/06	Compósitos metal/cerâmicos (ferramentaria)
15	21/06	Compósitos polímero/cerâmicos (fibras de carbono, aramida)
16	28/06	Entrega de TRABALHOS – T2
17	05/07	PROVA – P2
18	07/07	PROVA Substitutiva

newton.fukumasu@usp.br

Uso de materiais

- % Massa em um automóvel (2015)
  - Aço: 47%
  - Ferro: 8%
  - Alumínio: 8%
    - Metálicos: 63%
  - Plástico: 7%
  - Vidro: 3%
  - Outros: 27%

https://www.carkeys.co.uk/news/wrc-inspired-toyota-yaris-hot-hatch-will-get-supercharged-1-8-litre-engine acessado em 03/2017

http://marketrealist.com/2015/02/raw-materials-biggest-cost-driver-auto-industry/ acessado em 03/2017

newton.fukumasu@usp.br

Diagrama de fases

- **Alotropia ou Polimorfismo**
  - **Mais de um arranjo possível para o mesmo elemento**

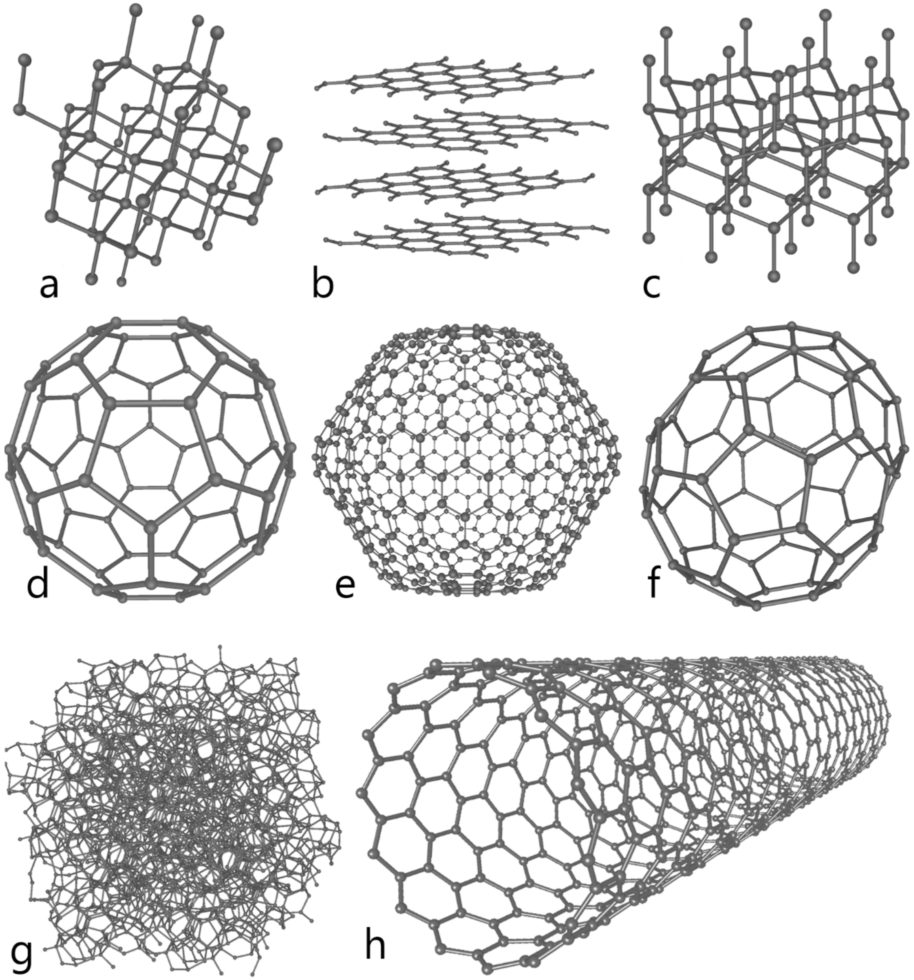
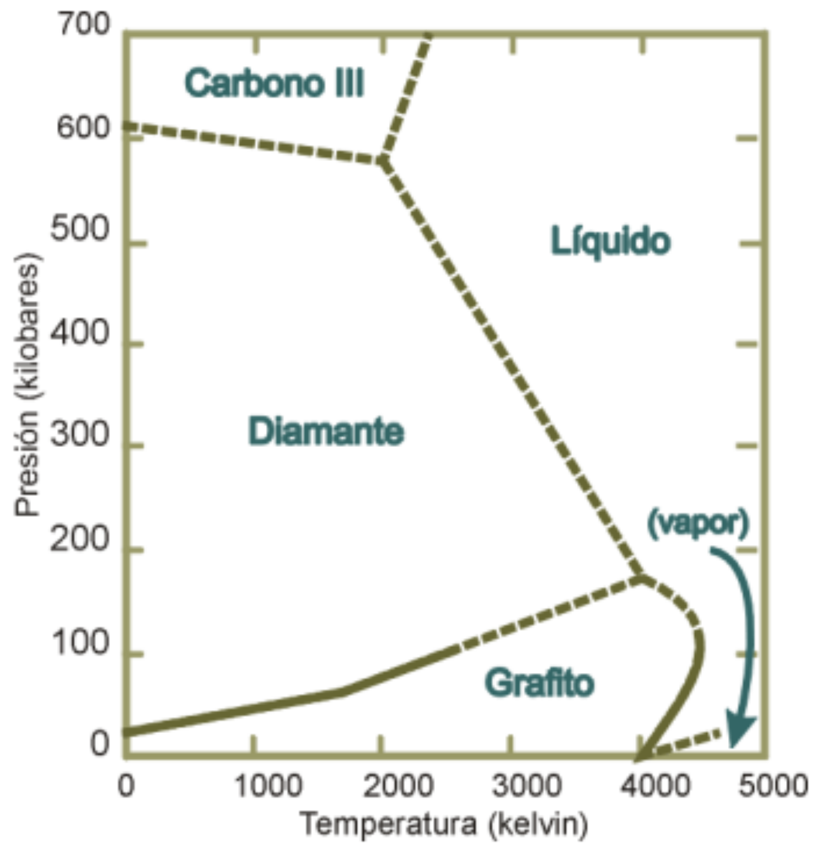


Diagrama do sistema carbono

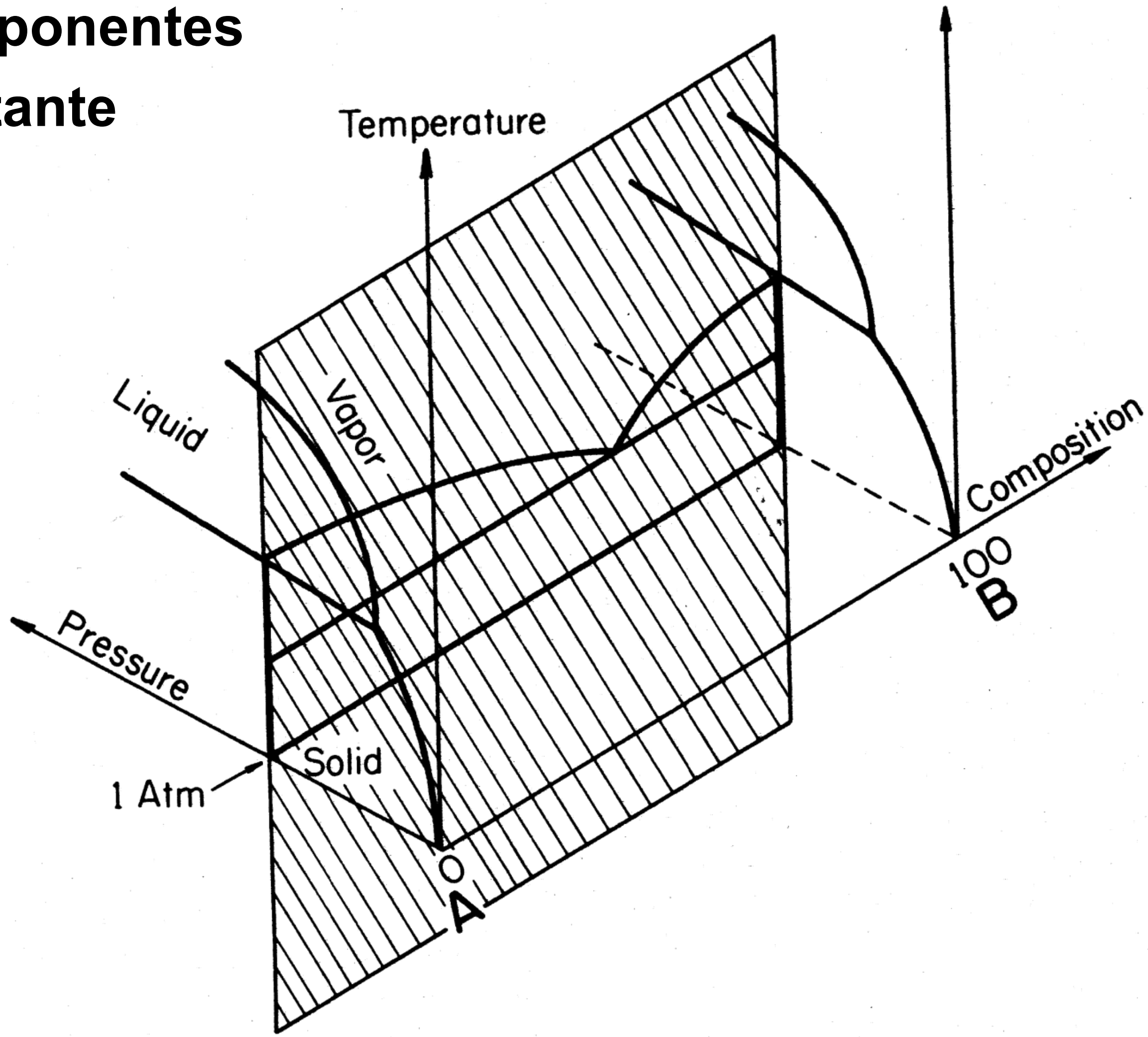


http://www2.uned.es/cristamine/mineral/quimica/quim_term_diag.htm

newton.fukumasu@usp.br

Diagrama de fases

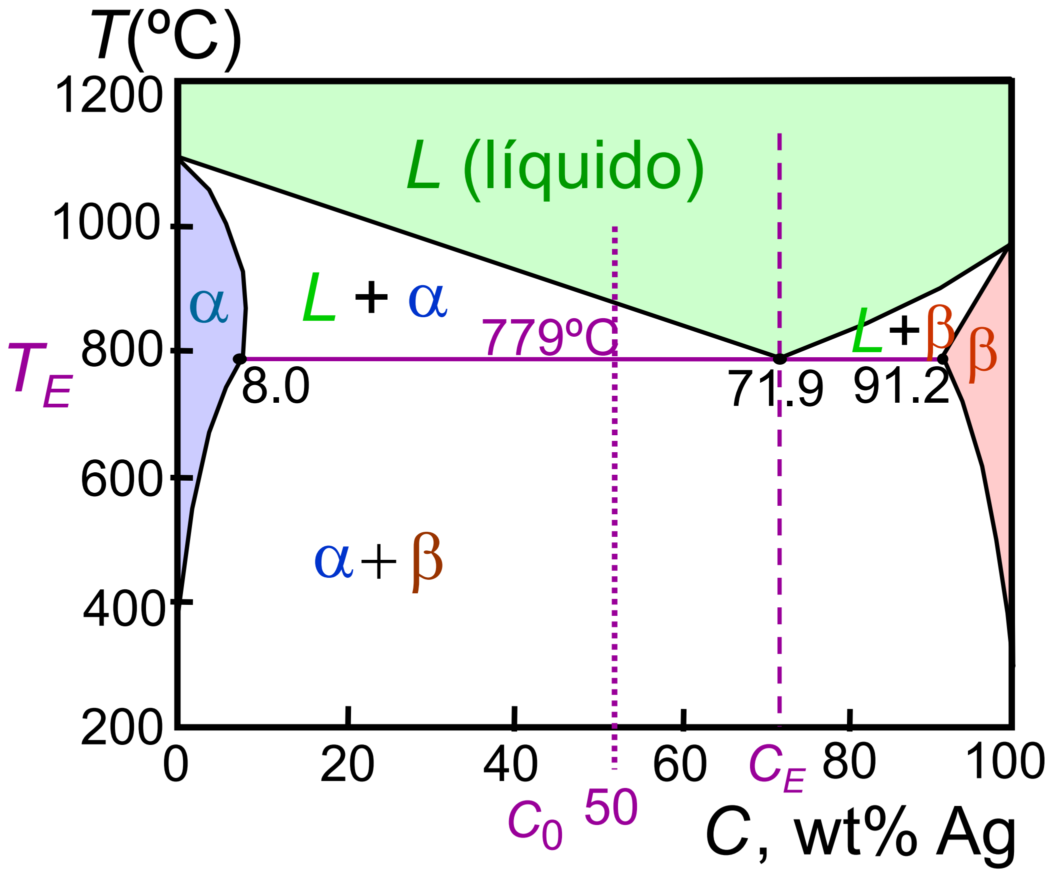
- ❖ Consideração do eixo de composição
  - ❖ Multiplos componentes
  - ❖ Pressão constante



newton.fukumasu@usp.br

Microestruturas em Sistemas Eutéticos

❖ Sistema Cobre – Prata

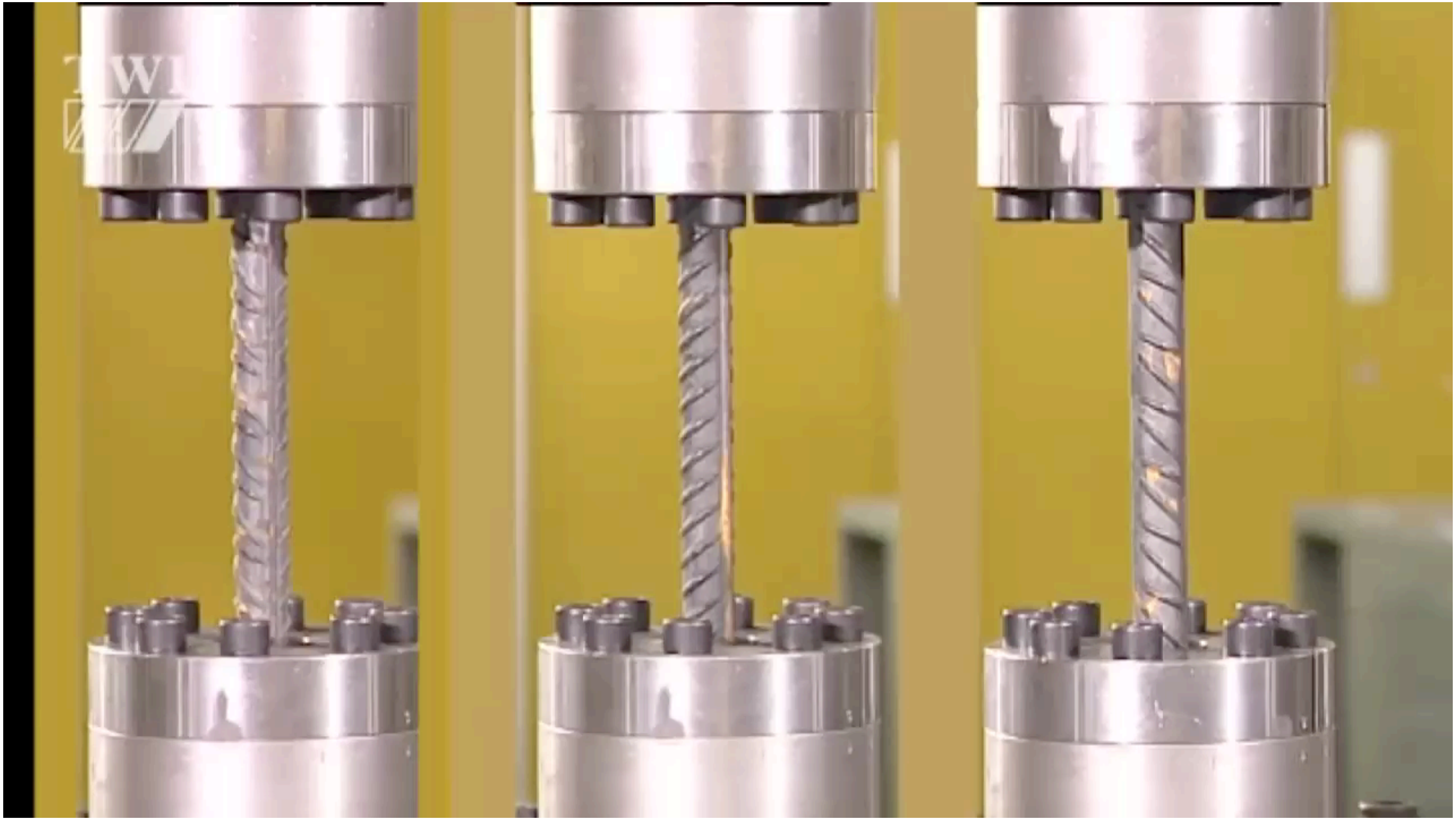


50% cobre e 50% prata

http://www.georgesbasement.com/Microstructures/Unknowns/NonFerrous/Specimen03.htm

newton.fukumasu@usp.br

Propriedades mecânicas

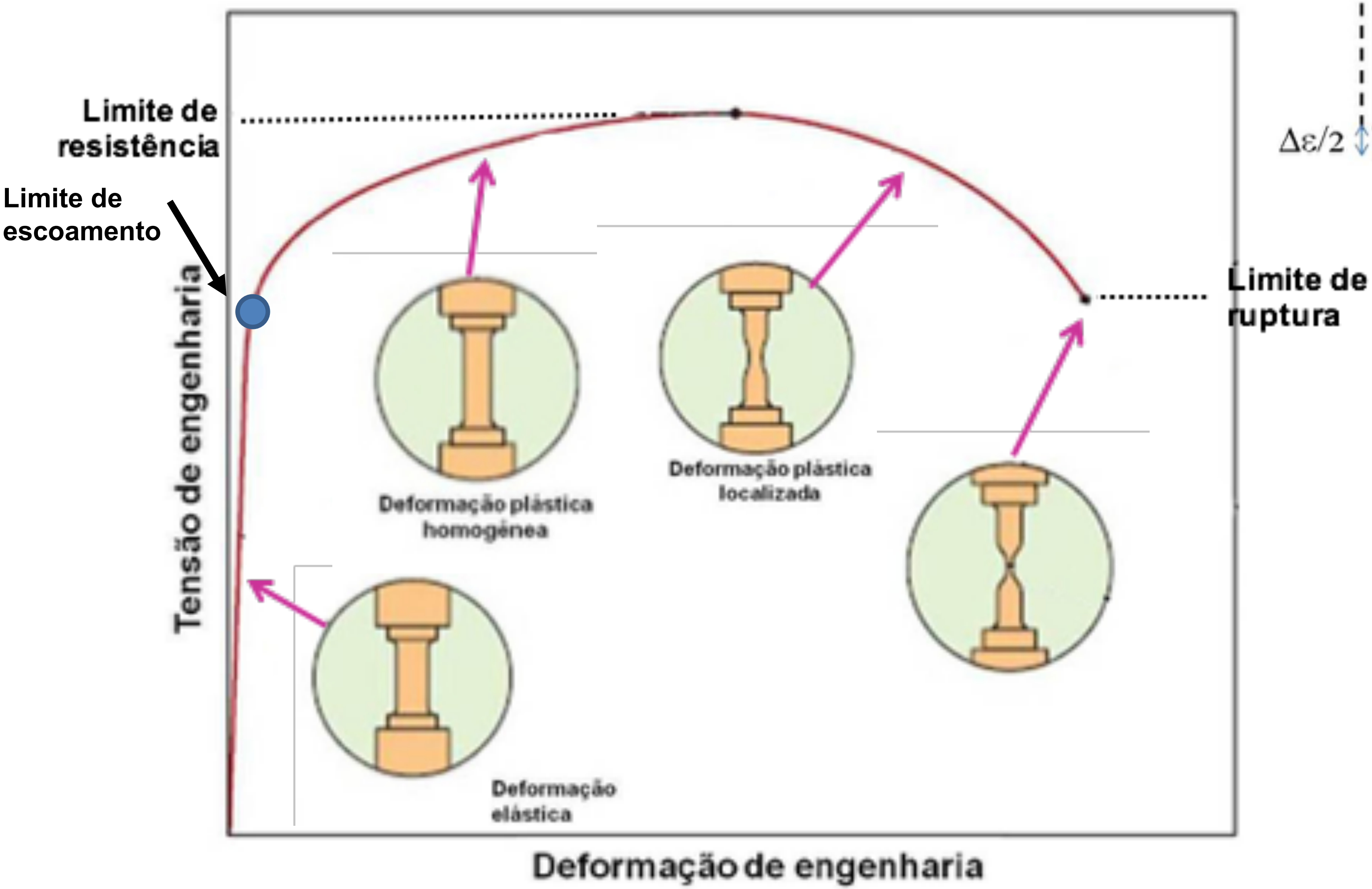


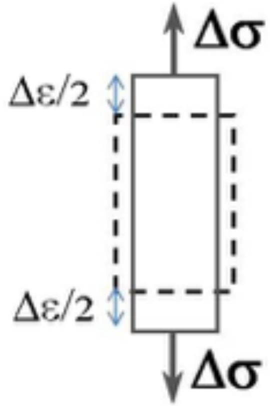
https://youtu.be/ru8zXGoVRDk?list=PLTqbs6ghIP55vF37JG0Hy_kHamNYXklhU

newton.fukumasu@usp.br

Propriedades mecânicas

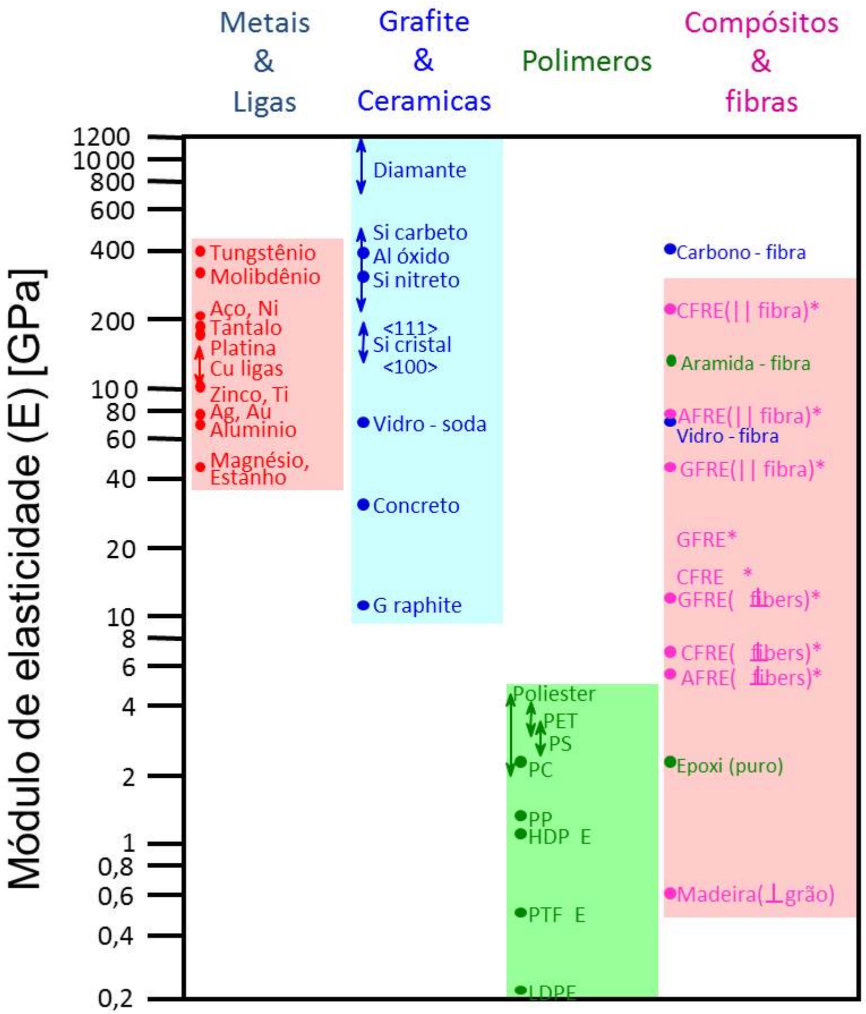
❖ **Curva Tensão x Deformação**

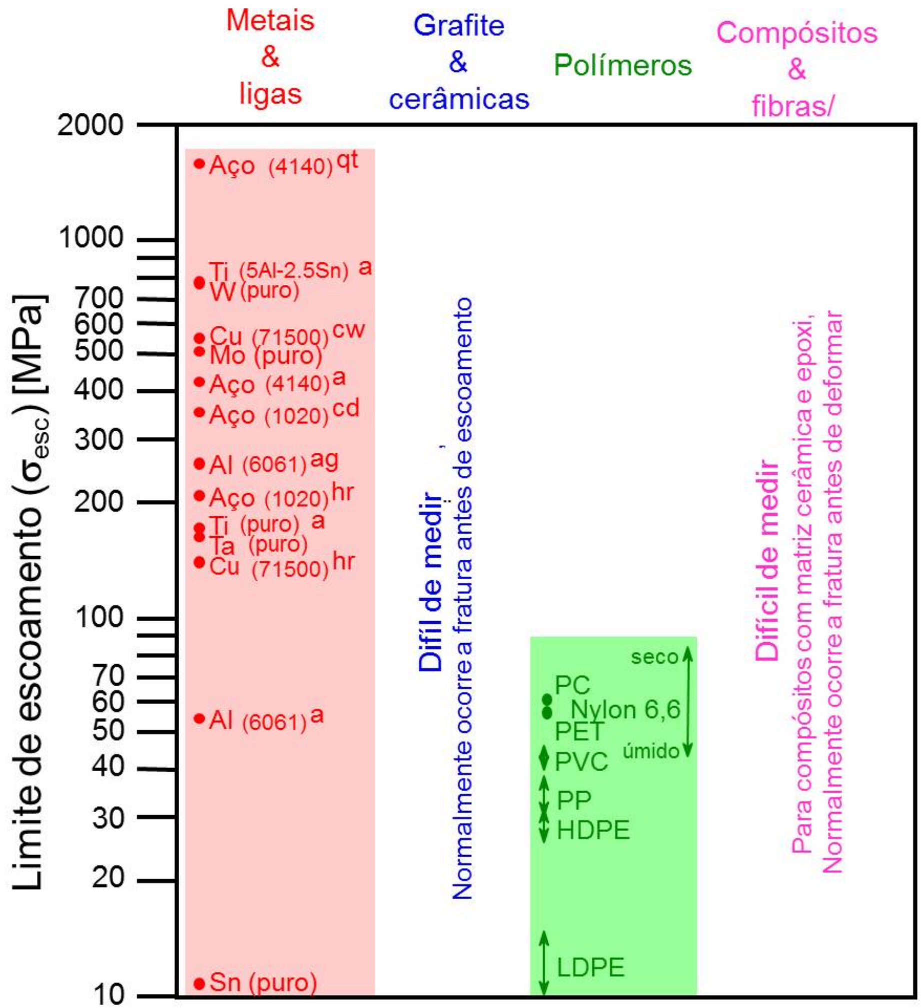




newton.fukumasu@usp.br

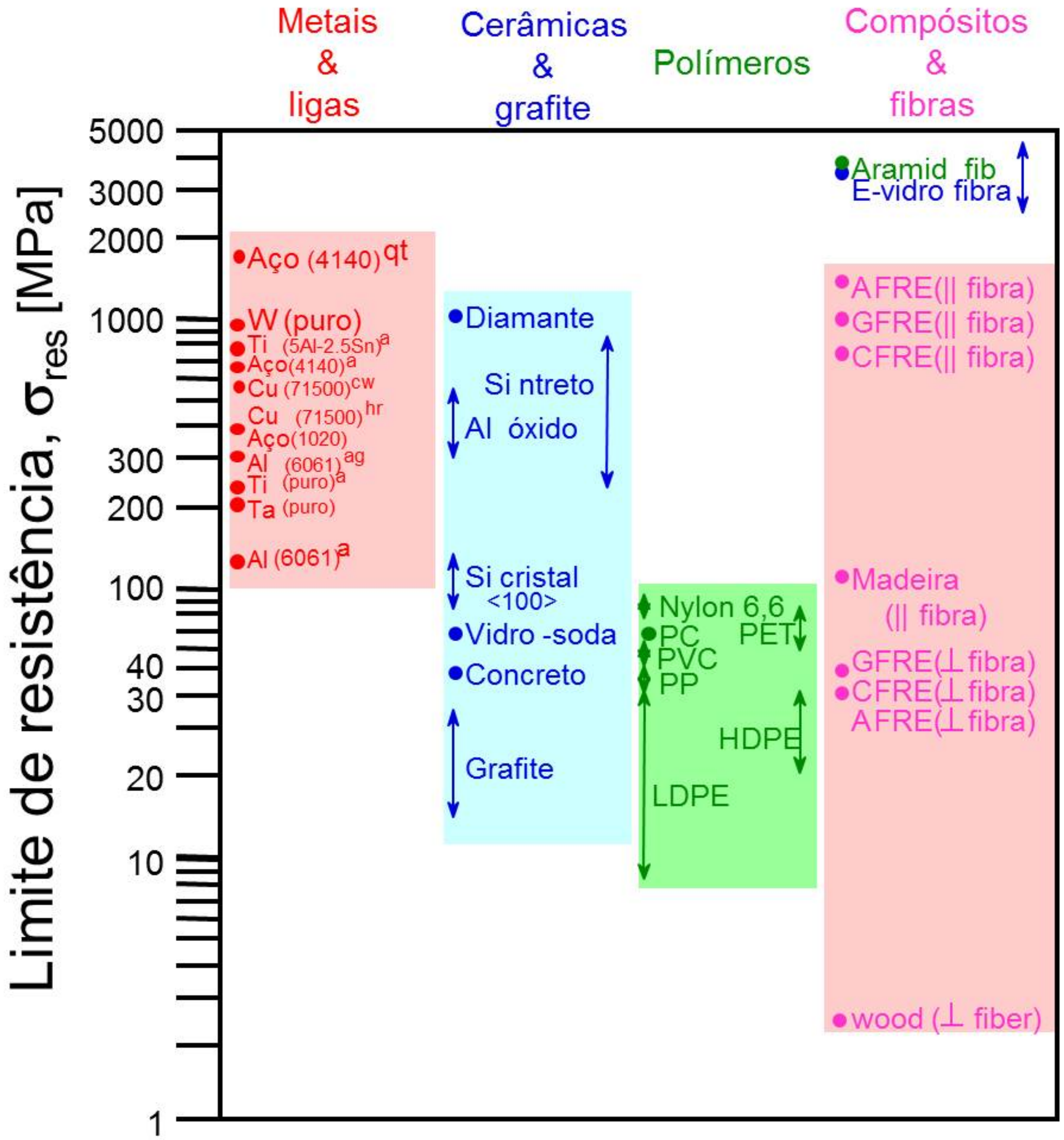
Propriedades mecânicas





newton.fukumasu@usp.br

Tipos de materiais – Limite de Resistência



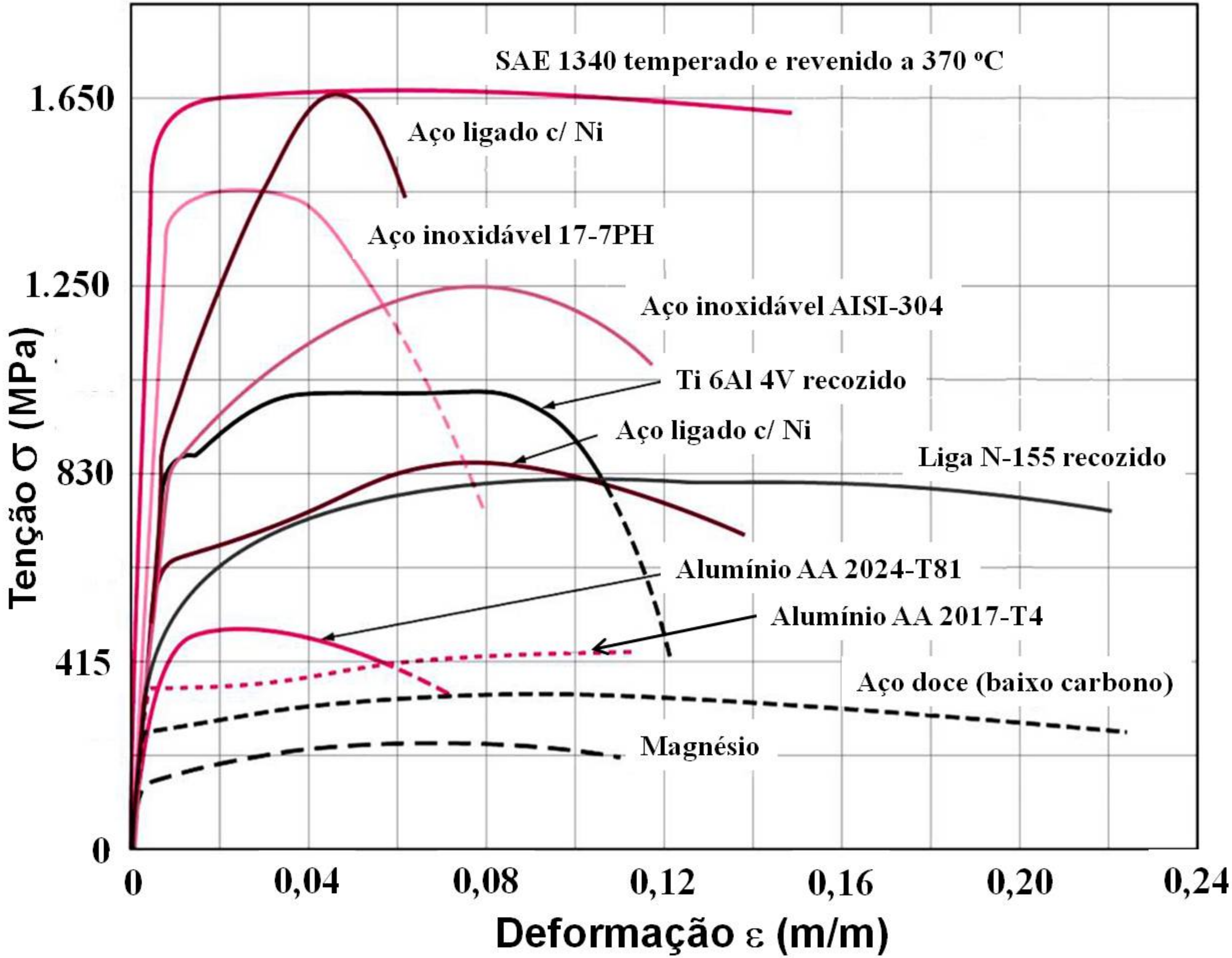
Valores a temperatura ambiente

a = recozido
hr = laminado a quente
ag = envelhecido
cd = deformado a frio
cw = trabalhado a frio
qt = quenched & tempered

Compósitos com 60 % em volume de matriz epóxi e fibras de aramida, vidro, & carbono
.

newton.fukumasu@usp.br

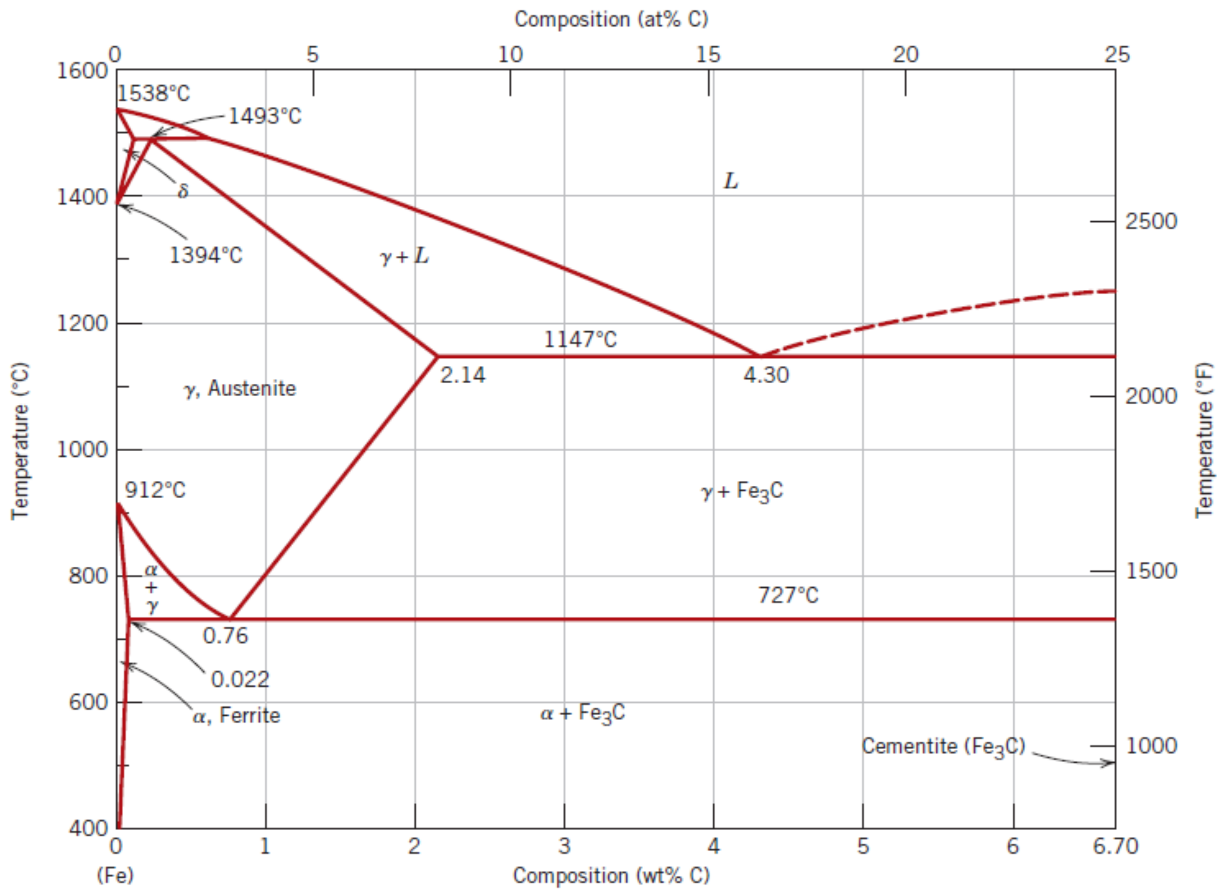
Curva tensão X deformação de metais



newton.fukumasu@usp.br

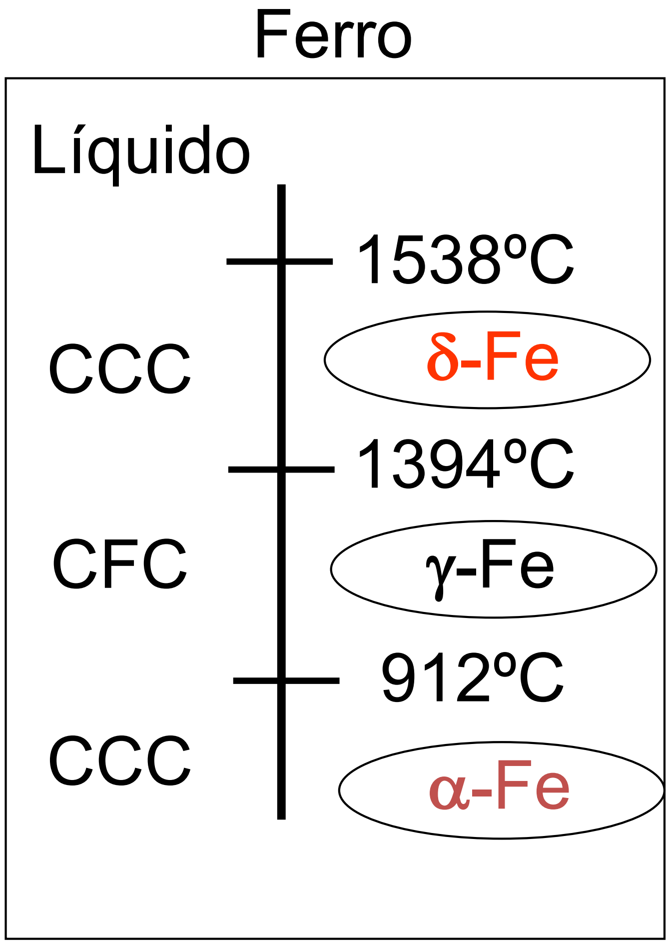
Diagrama de fases – Ferro X Carbono

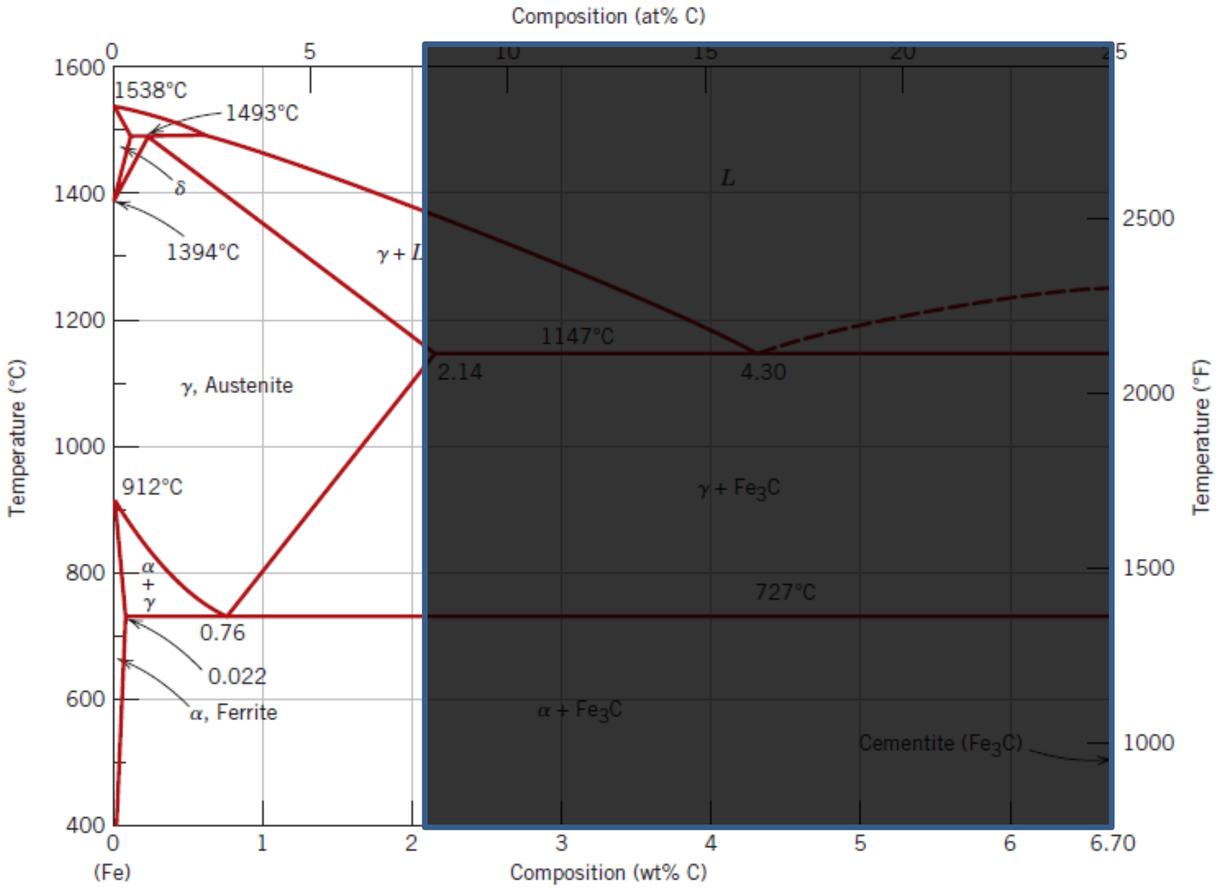
- **Aços**
  - **(C < 2%)**
- **Ferros fundidos**
  - **(2% < C > 6.7%)**
- **Tipos de microestrutura**
  - **Ferrita (α)**
  - **Austenita (γ)**
  - **Ferrita (δ)**
  - **Cementita (Fe_3C)**



newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Aços

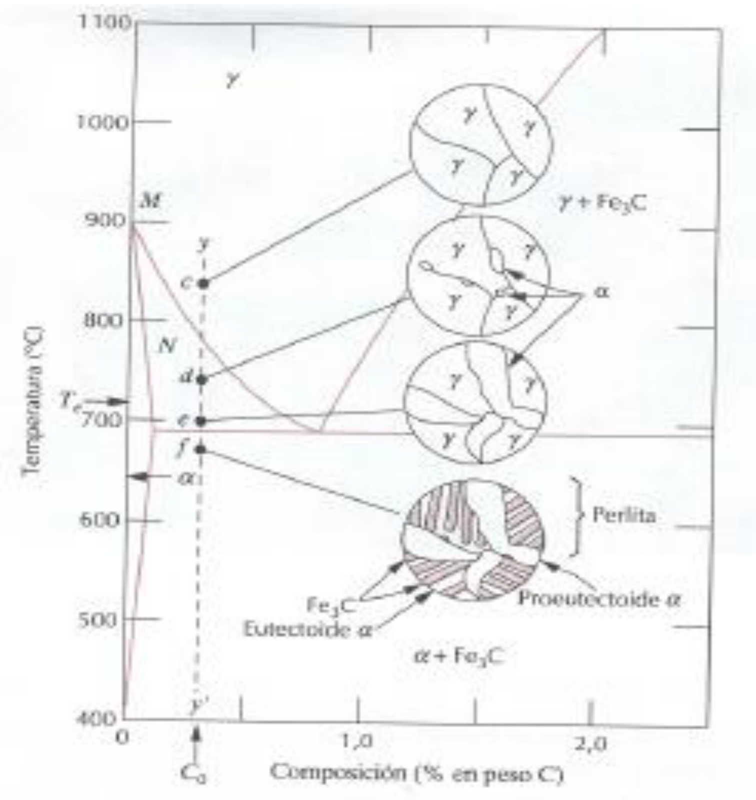




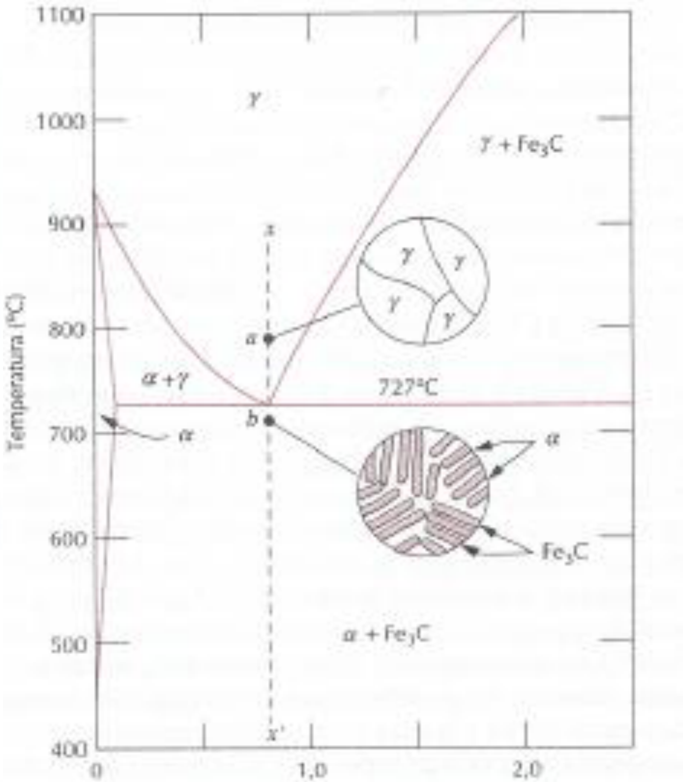
newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Aços

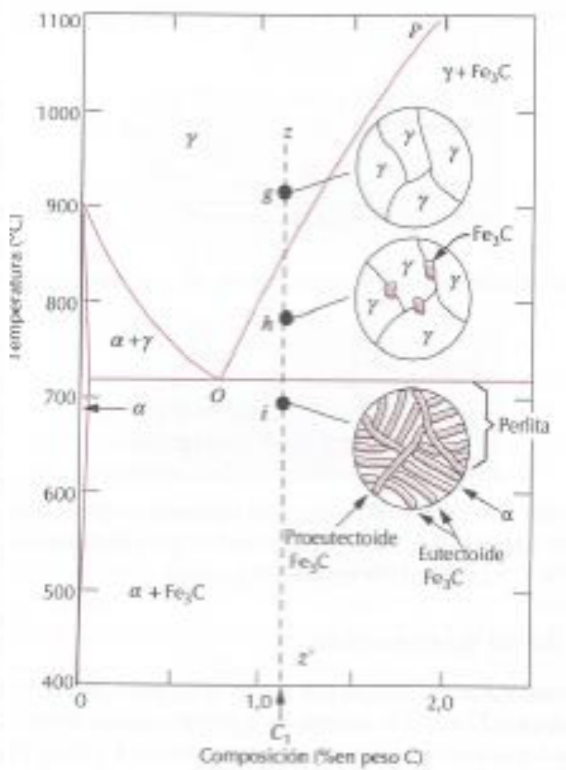
Aço hipo-eutetóide



Aço eutetóide



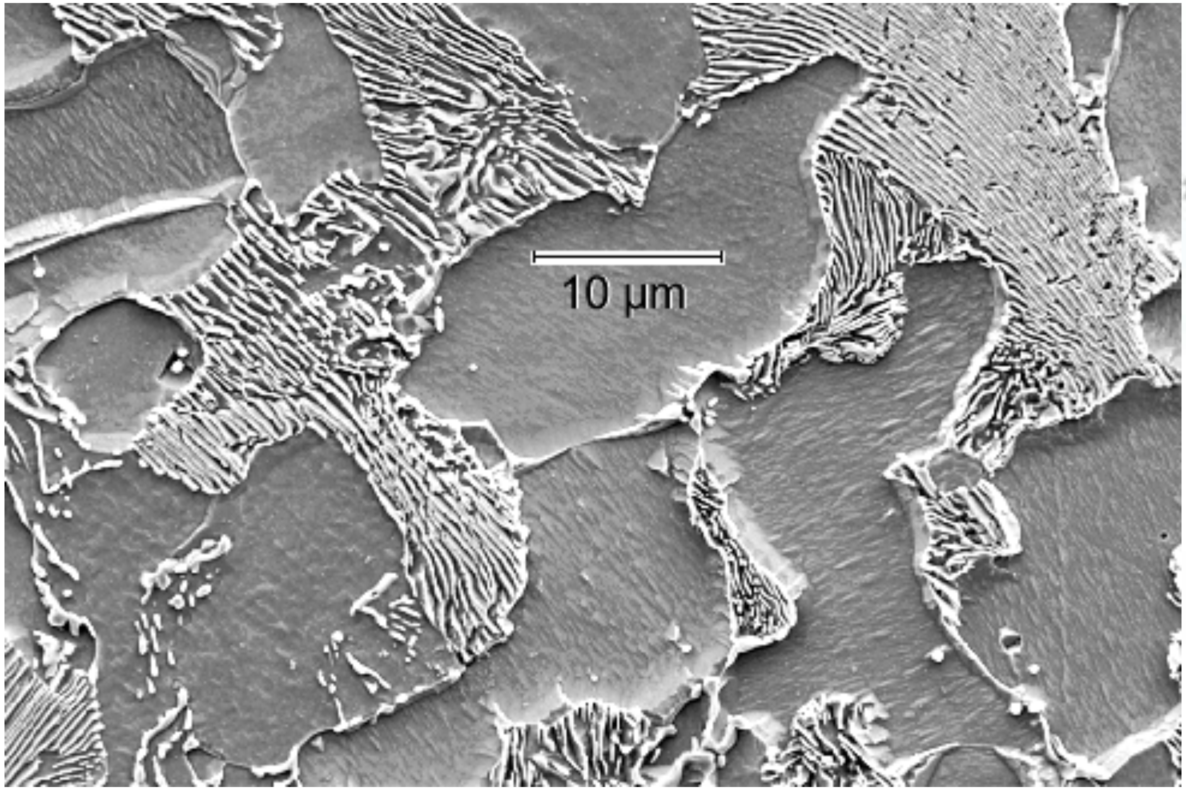
Aço hiper-eutetóide

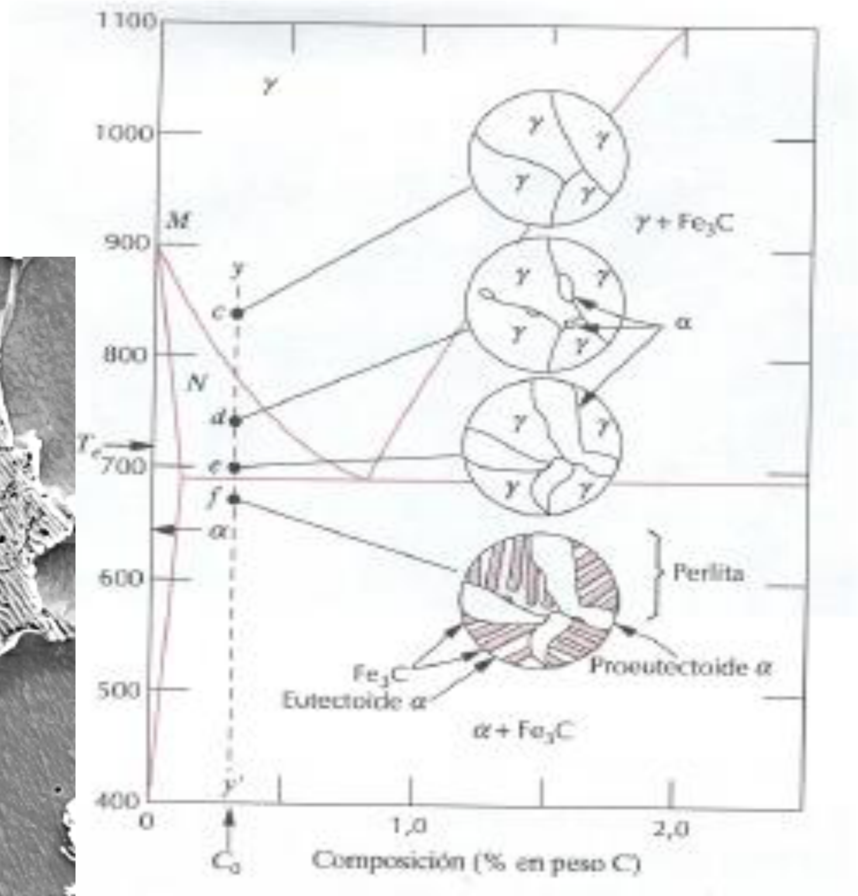


newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Aços

Aço hipo-eutetóide



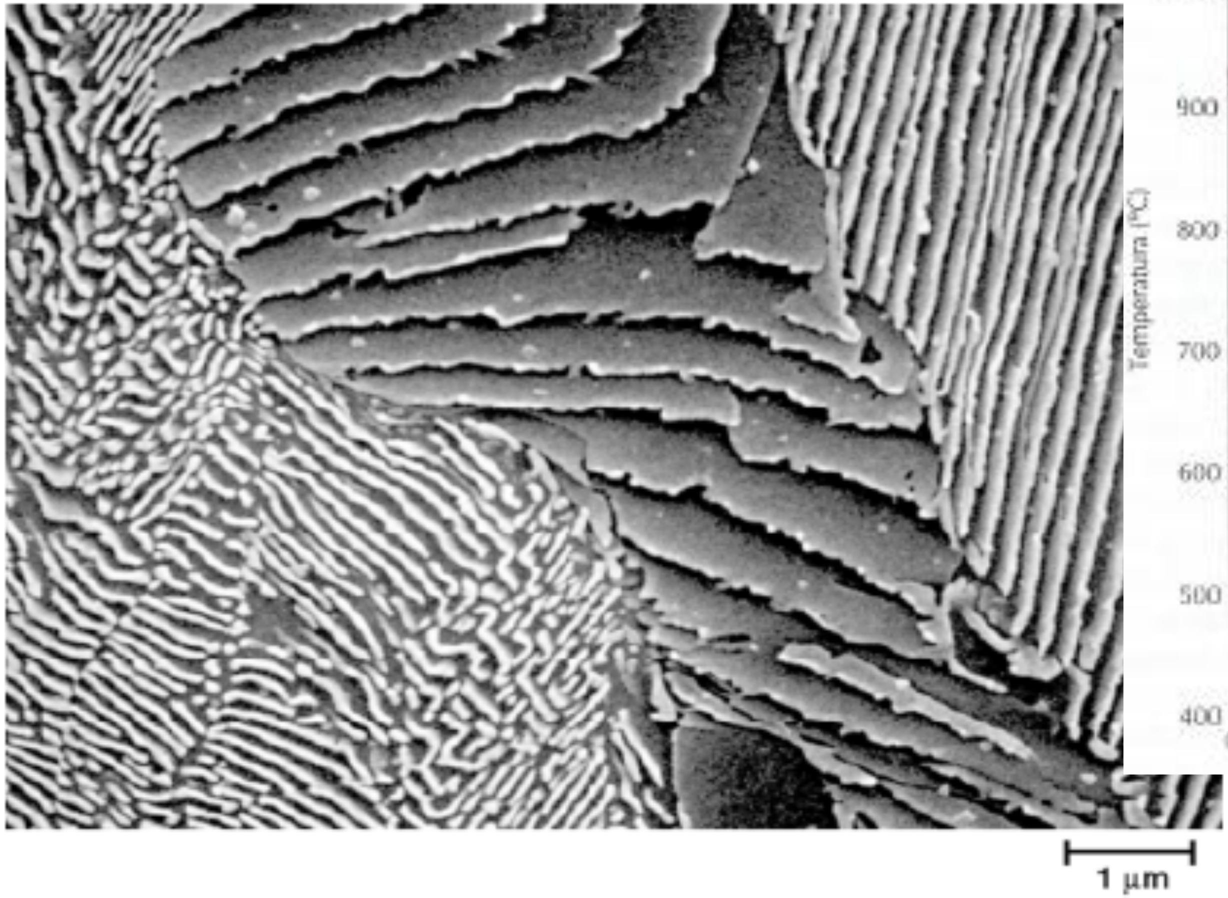


newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Aços

LFS

Aço eutetóide



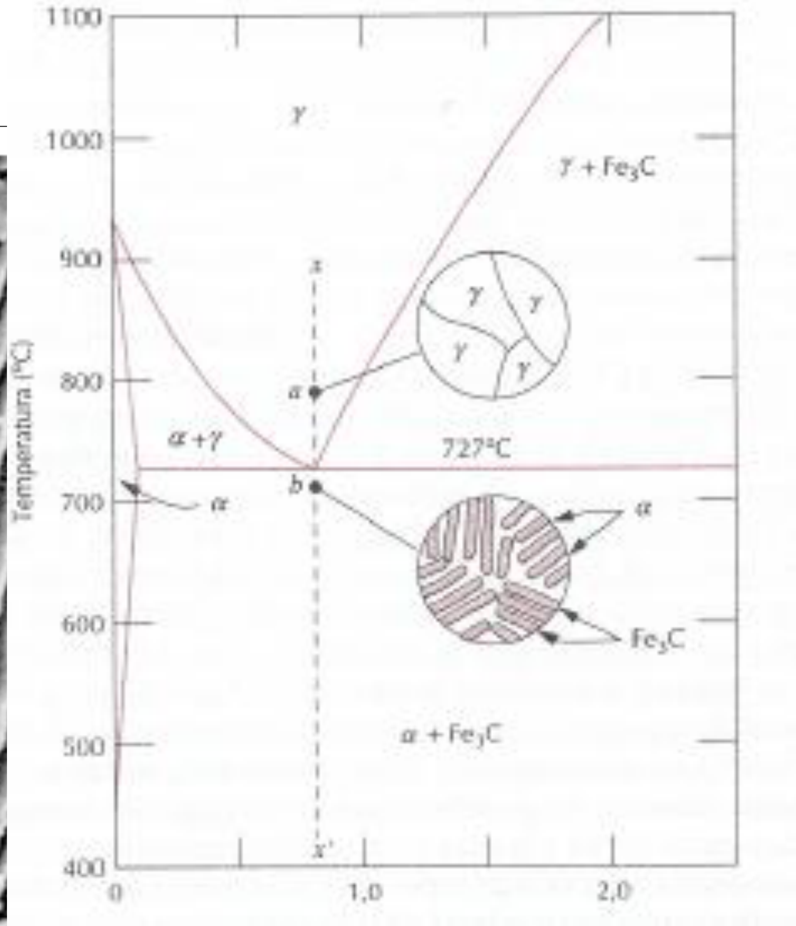
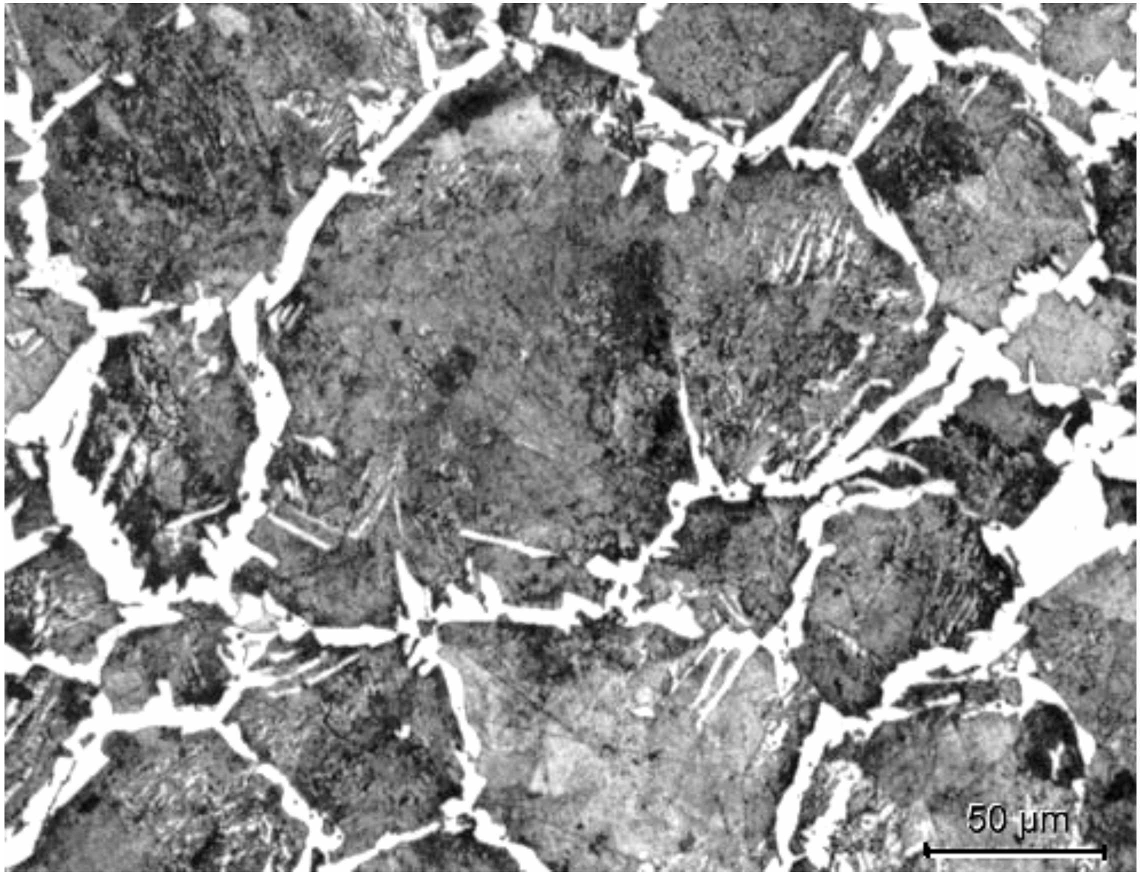


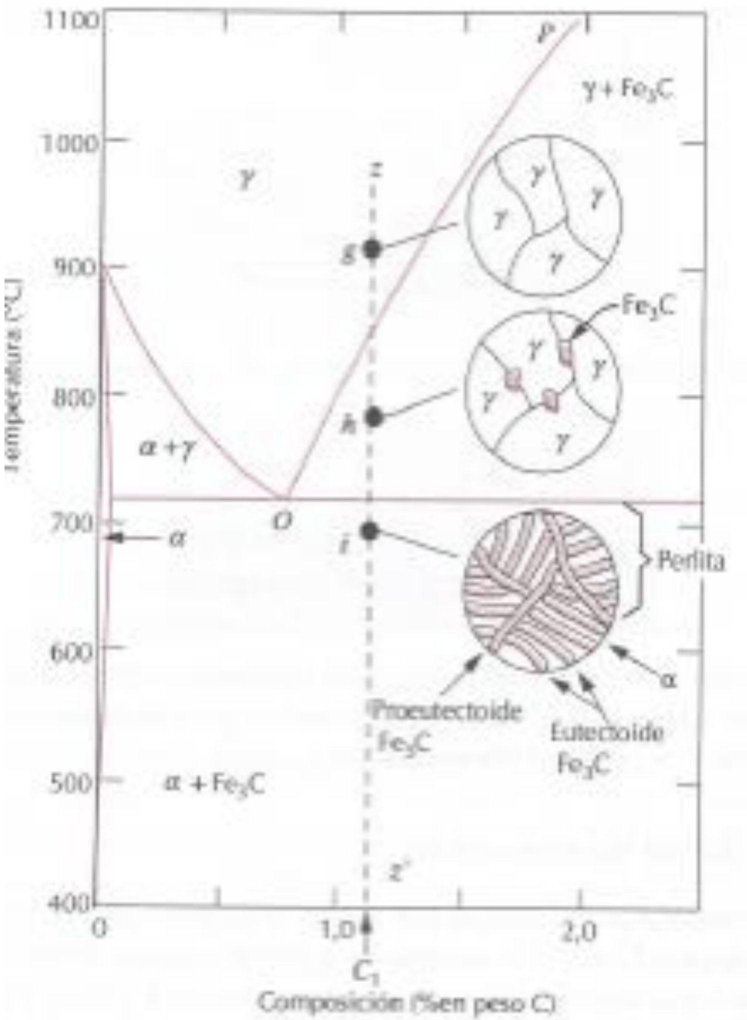
Fig. 13 Microstructure of pearlite colonies in plain carbon UNS G10800 steel taken in the scanning electron microscope. The plates of cementite are clearly revealed. 4% picral etch. Original magnification 10,000×

newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Aços

Aço hiper-eutetóide





newton.fukumasu@usp.br

LFS

Nomeclatura dos aços

Numerals and digits[a]	Type of steel and nominal alloy content[b]
Carbon Steels	
10XX(a)	Plain carbon (Mn 1.00% max)
11XX	Resulfurized
12XX	Resulfurized and rephosphorized
15XX	Plain carbon (max Mn range—1.00 to 1.65%)
	Manganese Steels
13XX	Mn 1.75
	Nickel Steels
23XX	Ni 3.50
25XX	Ni 5.00
	Nickel–Chromium Steels
31XX	Ni 1.25; Cr 0.65 and 0.80
32XX	Ni 1.75; Cr 1.07
33XX	Ni 3.50; Cr 1.50 and 1.57
34XX	Ni 3.00; Cr 0.77
	Molybdenum Steels
40XX	Mo 0.20 and 0.25
44XX	Mo 0.40 and 0.52
	Chromium–Molybdenum Steels
41XX	Cr 0.50, 0.80, and 0.95; Mo 0.12, 0.20, 0.25, and 0.30

Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content
	Nickel–Chromium–Molybdenum Steels
43XX	Ni 1.82; Cr 0.50 and 0.80; Mo 0.25
43BVXX	Ni 1.82; Cr 0.50; Mo 0.12 and 0.25; V 0.03 min
47XX	Ni 1.05; Cr 0.45; Mo 0.20 and 0.35
81XX	Ni 0.30; Cr 0.40; Mo 0.12
86XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.20
87XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.25
88XX	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.35
93XX	Ni 3.25; Cr 1.20; Mo 0.12
94XX	Ni 0.45; Cr 0.40; Mo 0.12
97XX	Ni 0.55; Cr 0.20; Mo 0.20
98XX	Ni 1.00; Cr 0.80; Mo 0.25
	Nickel–Molybdenum Steels
46XX	Ni 0.85 and 1.82; Mo 0.20 and 0.25
48XX	Ni 3.50; Mo 0.25
	Chromium Steels
50XX	Cr 0.27, 0.40, 0.50, and 0.65
51XX	Cr 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00, and 1.05

Numerals and digits	Type of steel and nominal alloy content
	Chromium Steels
50XXX	Cr 0.50
51XXX	Cr 1.02 } C 1.00 min
52XXX	Cr 1.45
	Chromium–Vanadium Steels
61XX	Cr 0.60, 0.80, and 0.95; V 0.10 and 0.15 min
	Tungsten–Chromium Steel
72XX	W 1.75; Cr 0.75
	Silicon–Manganese Steels
92XX	Si 1.40 and 2.00; Mn 0.65, 0.82, and 0.85; Cr 0.00 and 0.65
	High-Strength Low-Alloy Steels
9XX	Various SAE grades
	Boron Steels
XXBXX	B denotes boron steel
	Leaded Steels
XXLXX	L denotes leaded steel

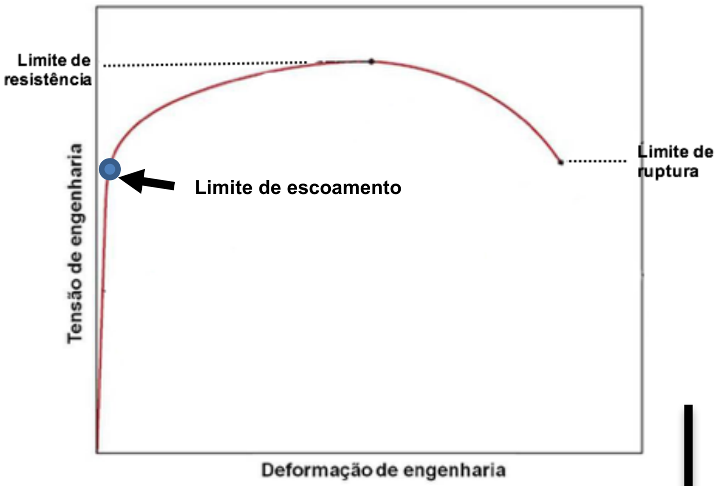
Source: *Metals Handbook*, 9th ed., Vol. 1, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1978.

[a] XX or XXX in the last two or three digits of these designations indicates that the carbon content (in hundredths of a weight percent) is to be inserted.

[b] All alloy contents are expressed in weight percent.

newton.fukumasu@usp.br

Propriedade Mecânica dos Aços 10XX



%C

Grau do aço	Resistência ao escoamento (N/mm²)	Resistência à tração (N/mm²)	Alongamento (%)
1015			
1020			
1022			
1030			
1040			
1050			
1060			
1080			

newton.fukumasu@usp.br

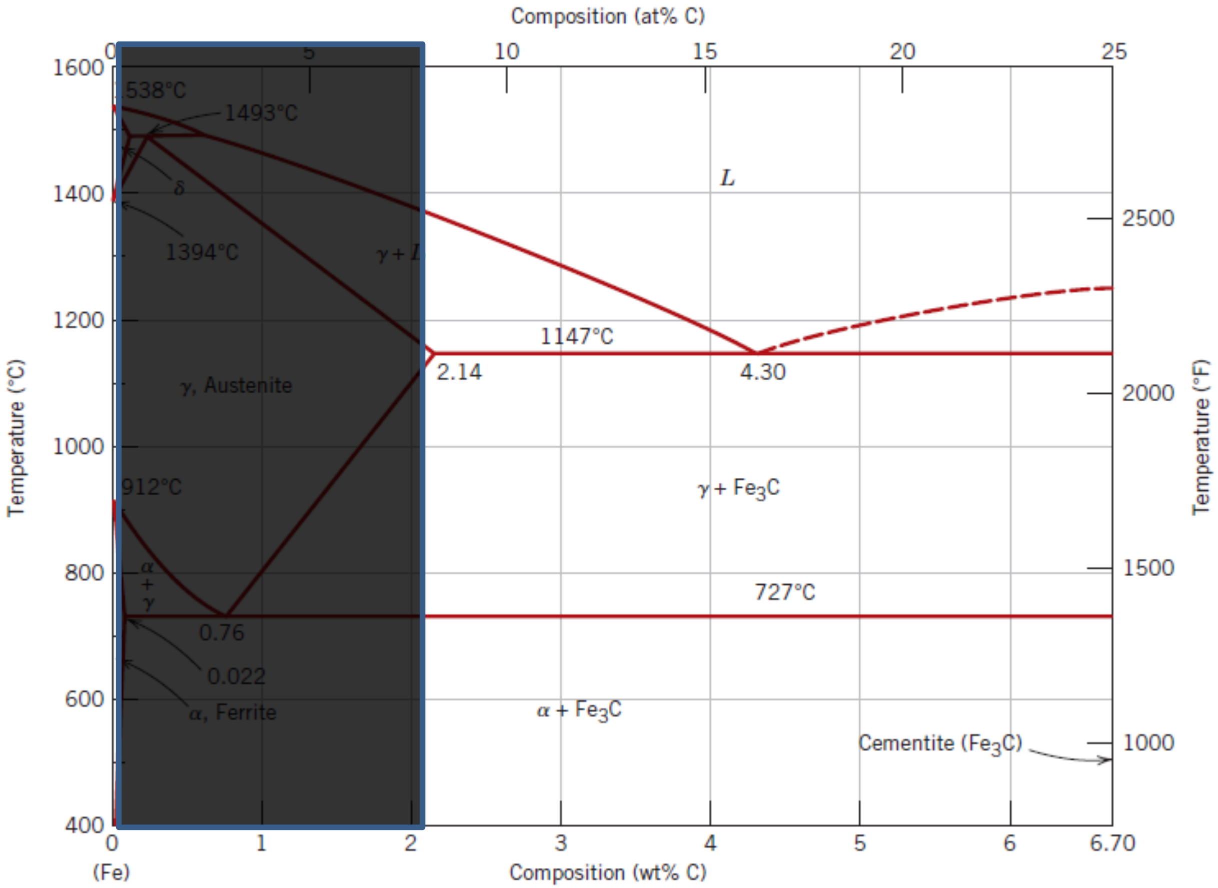
Usos dos Aços

Aços carbono

Baixo carbono (%C<0,3)	Médio carbono (0,3<%C<0,7)	Alto carbono (%C>0,7)
• Grande ductilidade • Bom para trabalho mecânico e soldagem • Utilizado em pontes, edifícios, navios, caldeiras, peças de grandes dimensões • Não temperáveis	• Temperáveis • Boa tenacidade e resistência • Utilizado em engrenagens, bielas e carris	• Temperáveis • Elevada dureza e resistência • Utilizado em ferramentas, componentes agrícolas, molas e engrenagens

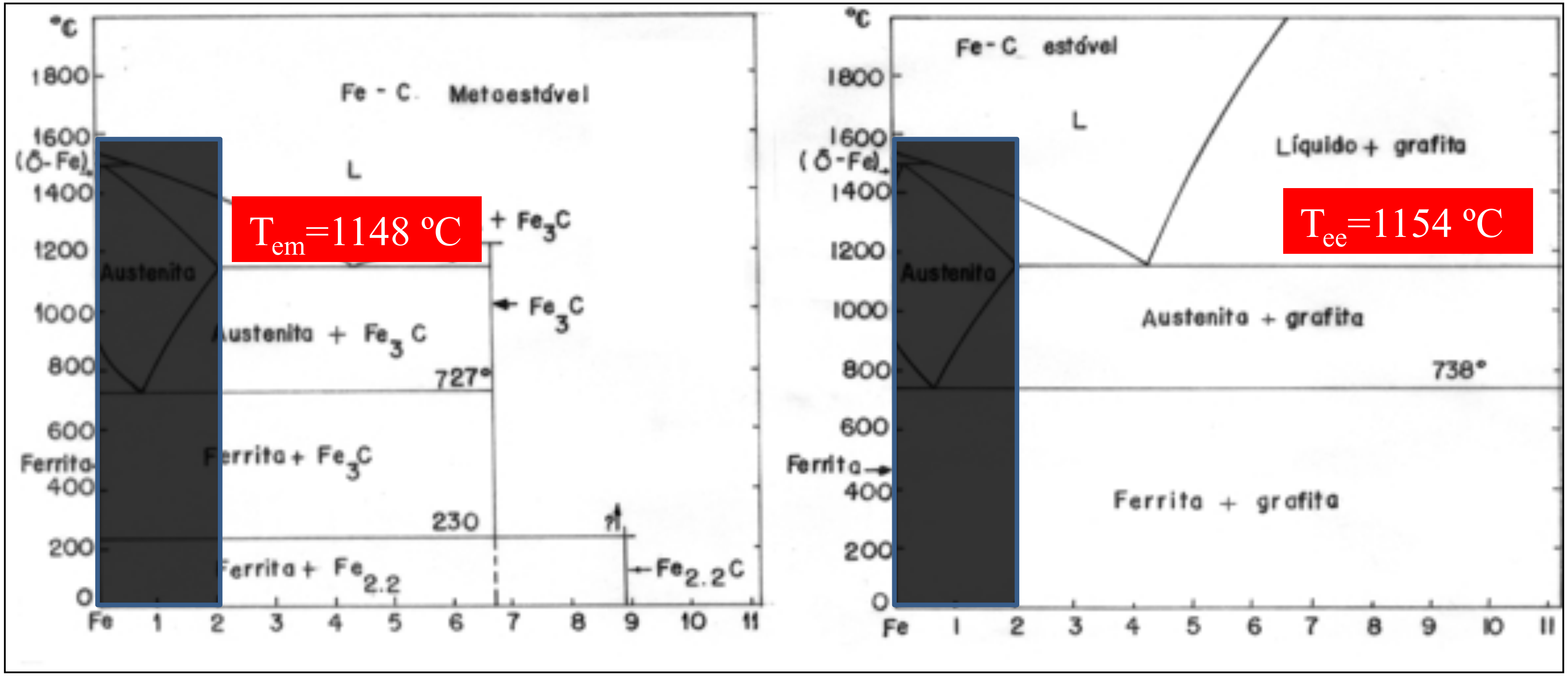
newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Ferro Fundido



newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Ferro Fundido

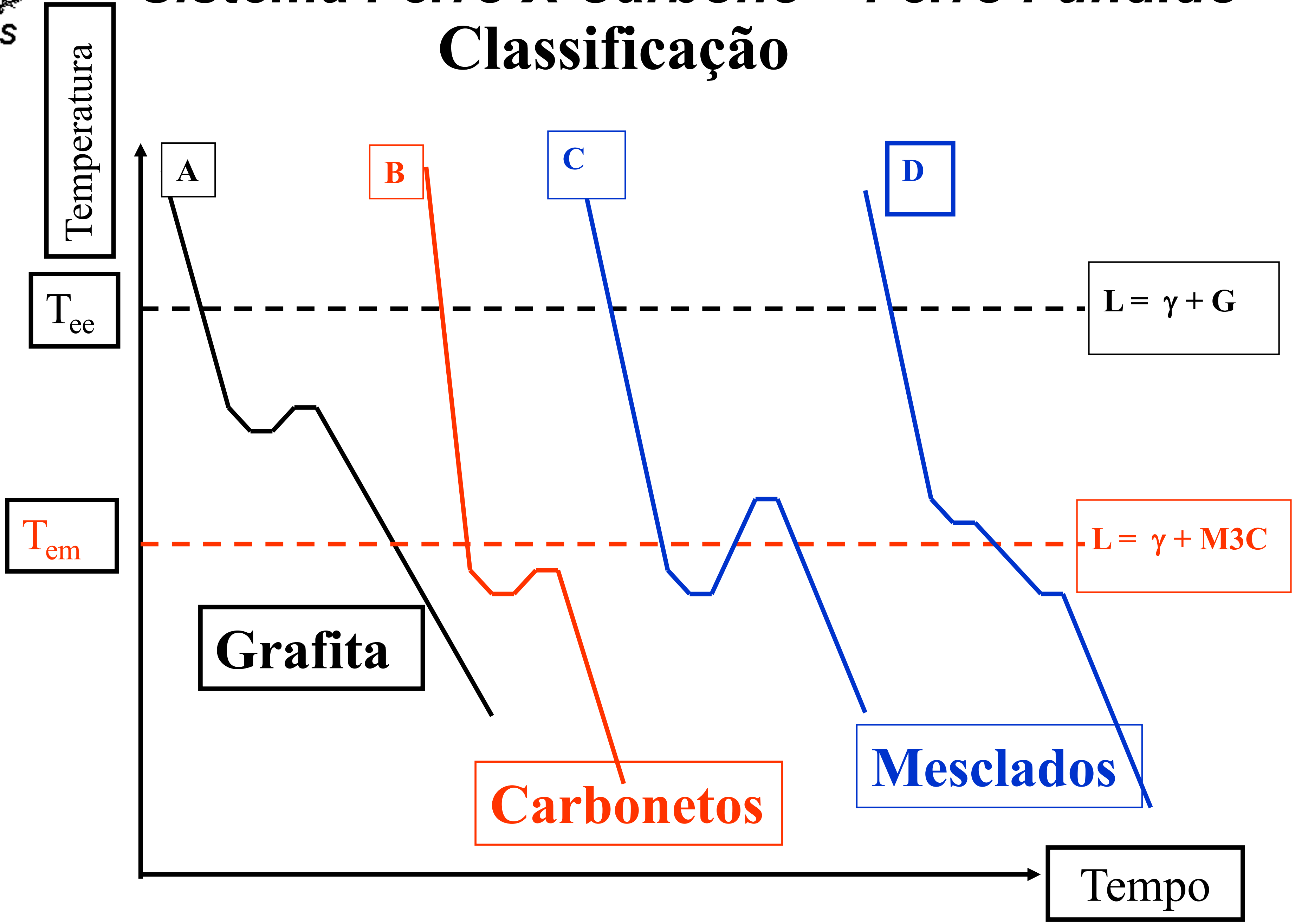


Formação de Cementita (Fe_3C)

Formação de Grafita (C)

newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Ferro Fundido
Classificação



newton.fukumasu@usp.br

Sistema Ferro X Carbono – Ferro Fundido

Ferro Fundido

Metaestável

- Formação de carbonetos M_3C
  - F.F. Branco
  - F.F. Coquilhado
- Formação de cabonetos M_7C_3
  - F.F. branco alto Cromo

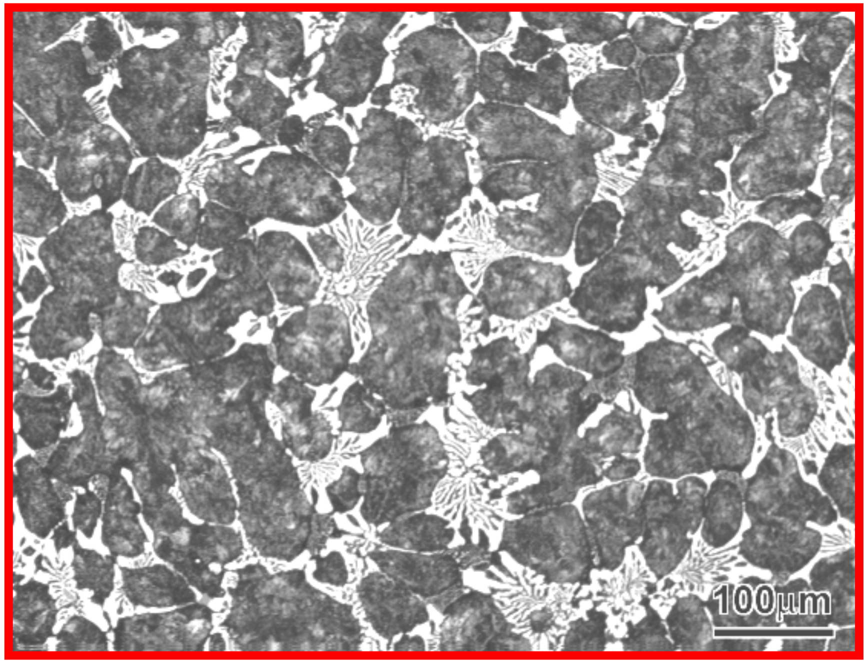
Estável

- Formação de grafita
  - Veios
    - F.F. Cinzento
  - Nódulos
    - Nodular ou esferoidal
  - Compacta
    - Vermiculas

Mesclado entre Carbonetos e Grafita

newton.fukumasu@usp.br

Ferro Fundido – Carboneto



Carbonetos Fe_3C

Ferro fundido branco

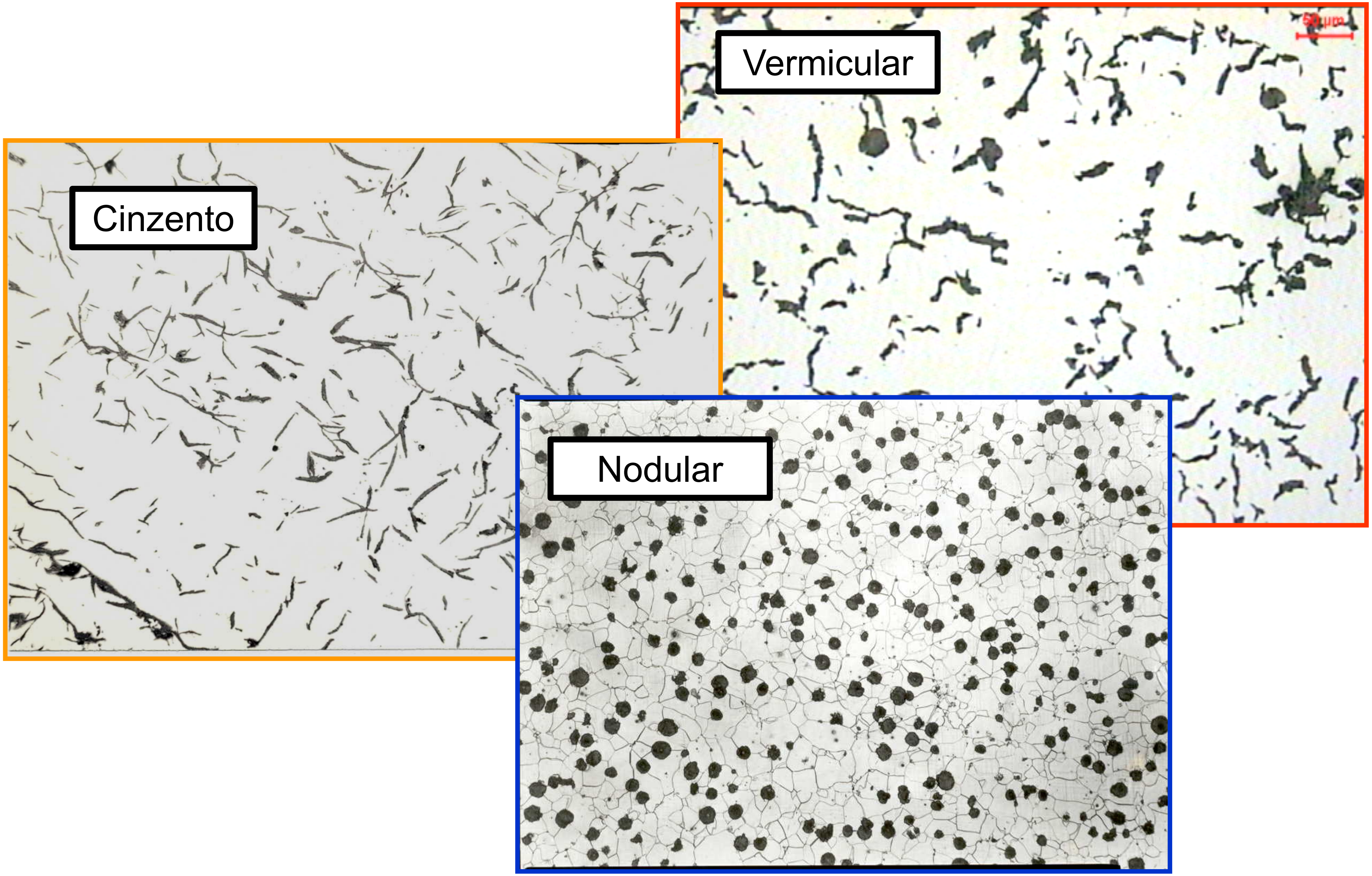
Ferro fundido coquilhado

Carbonetos (M_7C_3)

Ferro fundido branco com alto cromo

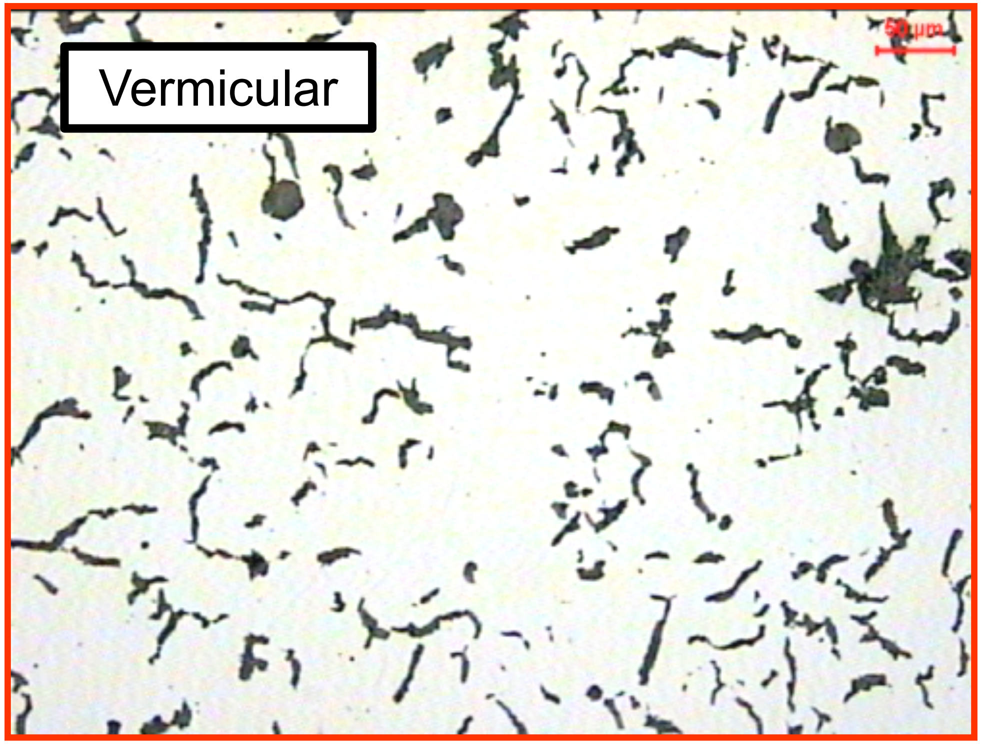
newton.fukumasu@usp.br

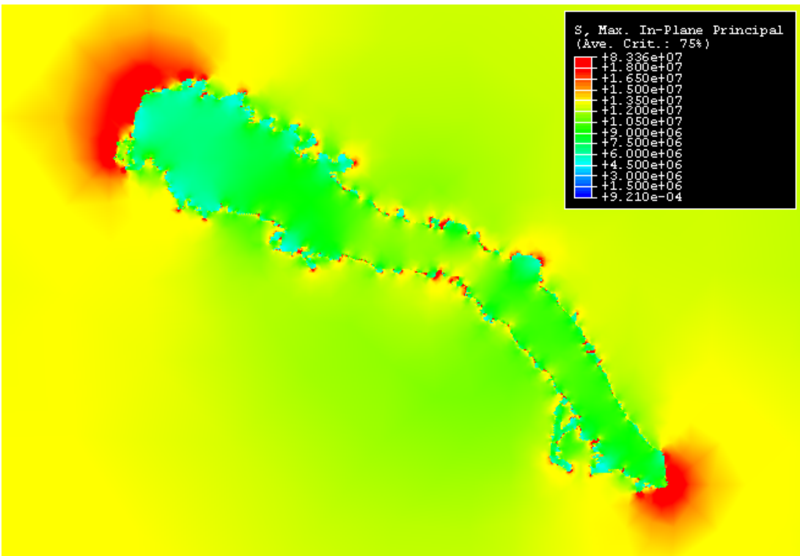
Ferro Fundido – Grafita



newton.fukumasu@usp.br

Ferro Fundido – Grafita





$$\sigma_{ponta} = k\sigma_{longe}\left(\frac{L}{D}\right)$$

Cinzento

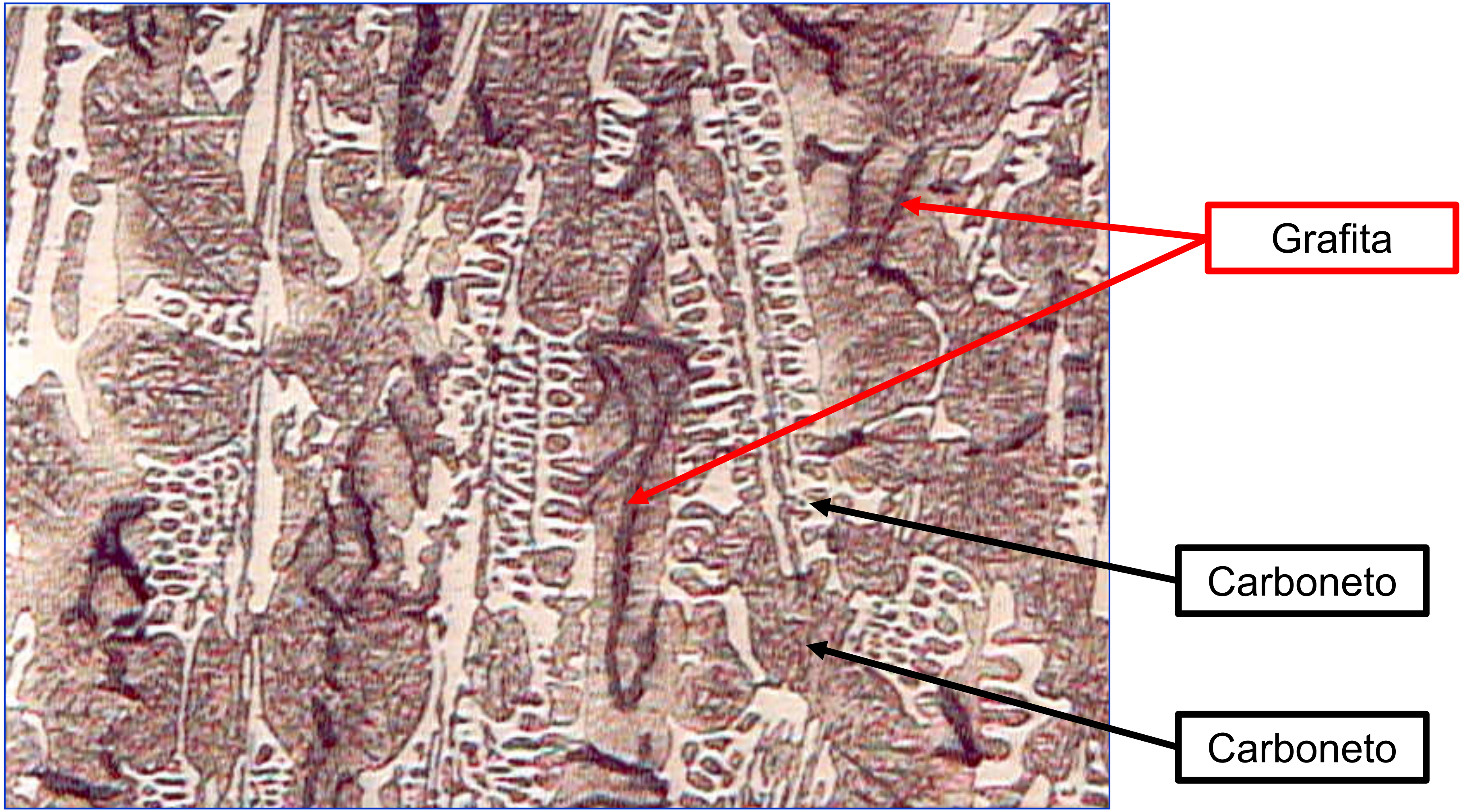
Vermicular

Nodular

Paula Pelegrino & Newton Fukumatsu - Análise da distribuição das tensões na microestrutura durante o desgaste por cavitação em ferro fundido vermicular. ABM 2004

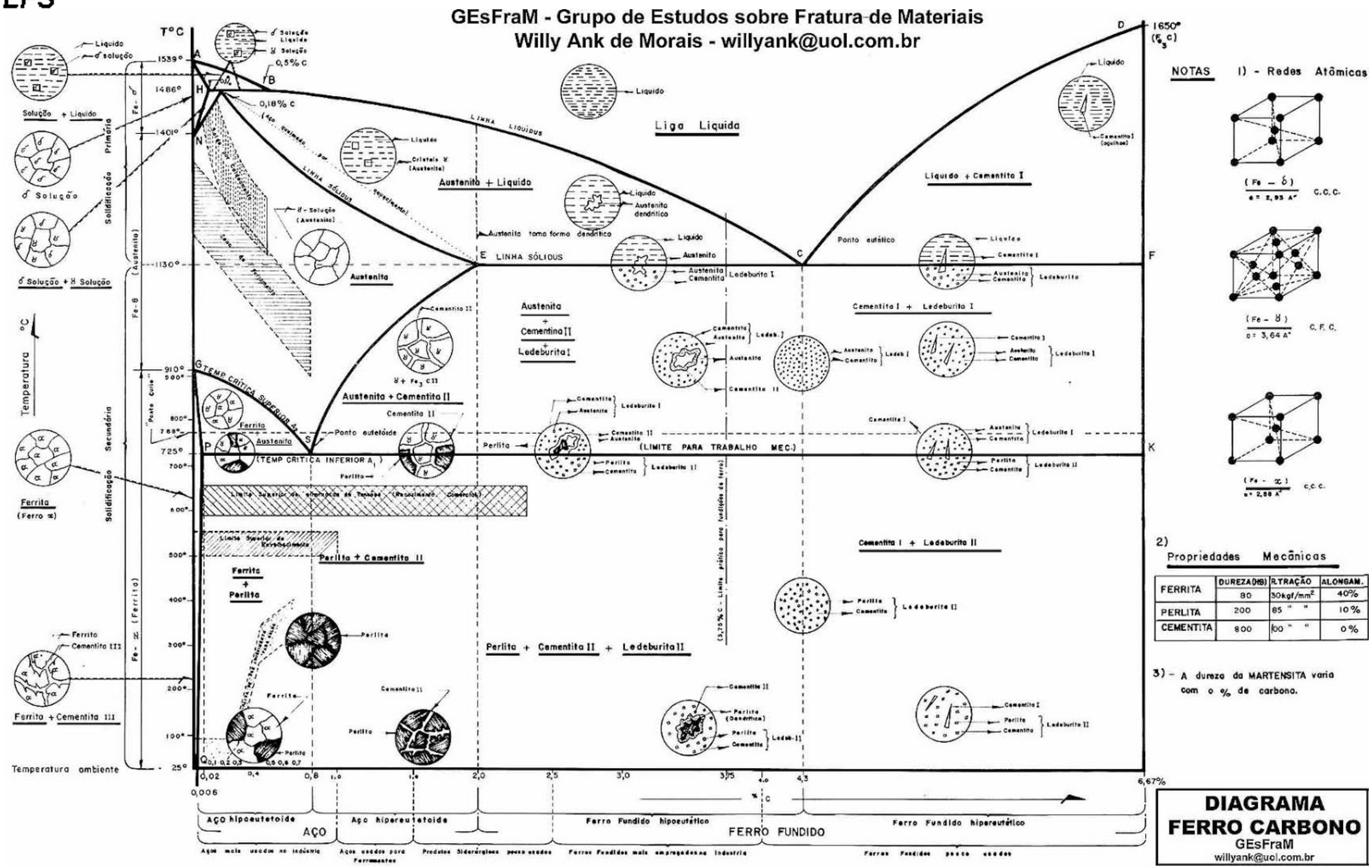
newton.fukumasu@usp.br

Ferro Fundido – Mesclado



newton.fukumasu@usp.br

Diagrama de fases – Ferro X Carbono

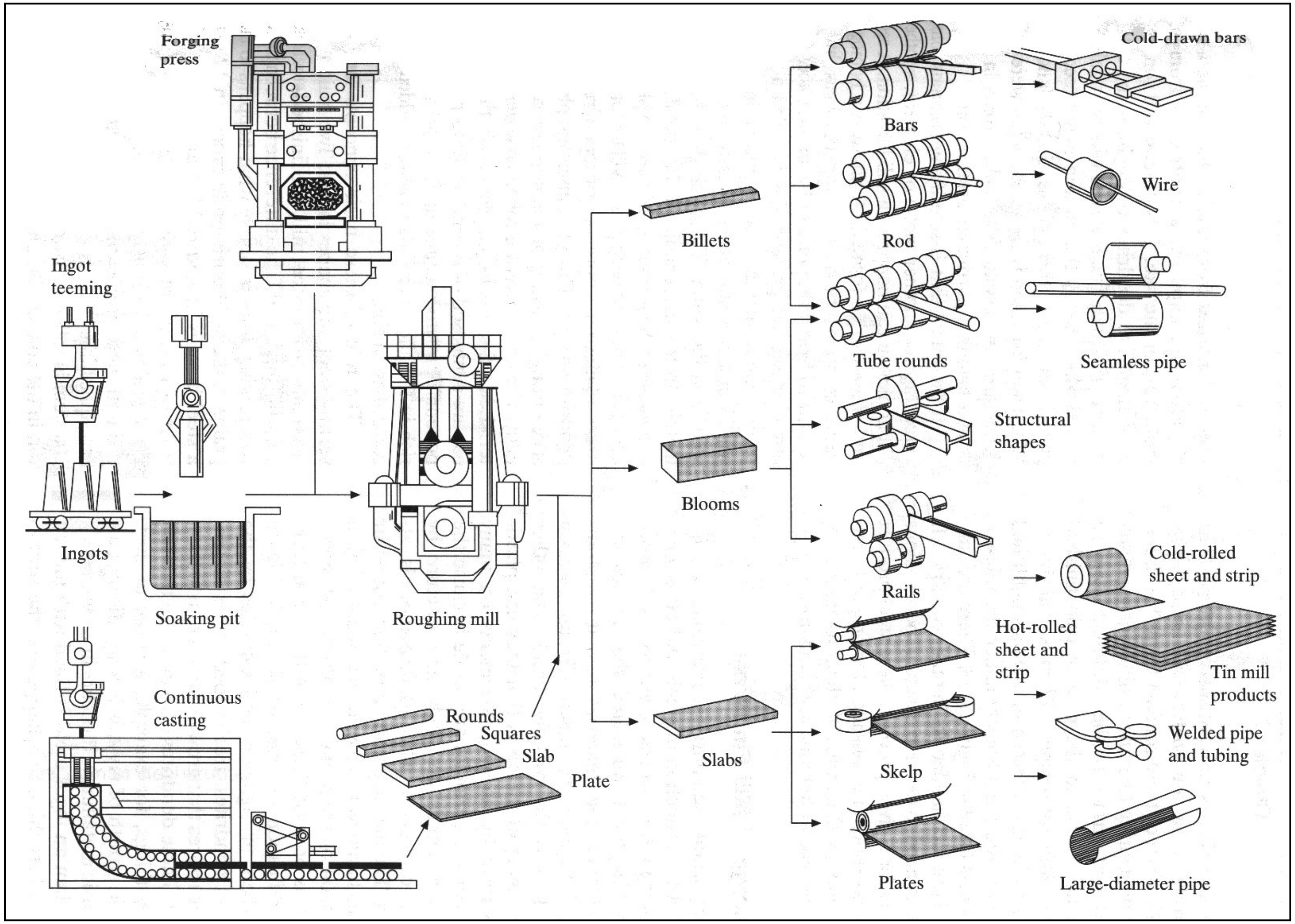


http://acheiamateria.blogspot.com.br/2013/05/aula-de-diagrama-ferro-carbono.html acessado em 03/2017

newton.fukumasu@usp.br

Processos siderúrgicos

- Fundição
- Laminação
- Forjamento



newton.fukumasu@usp.br

LFS

Processo de fundição

newton.fukumasu@usp.br

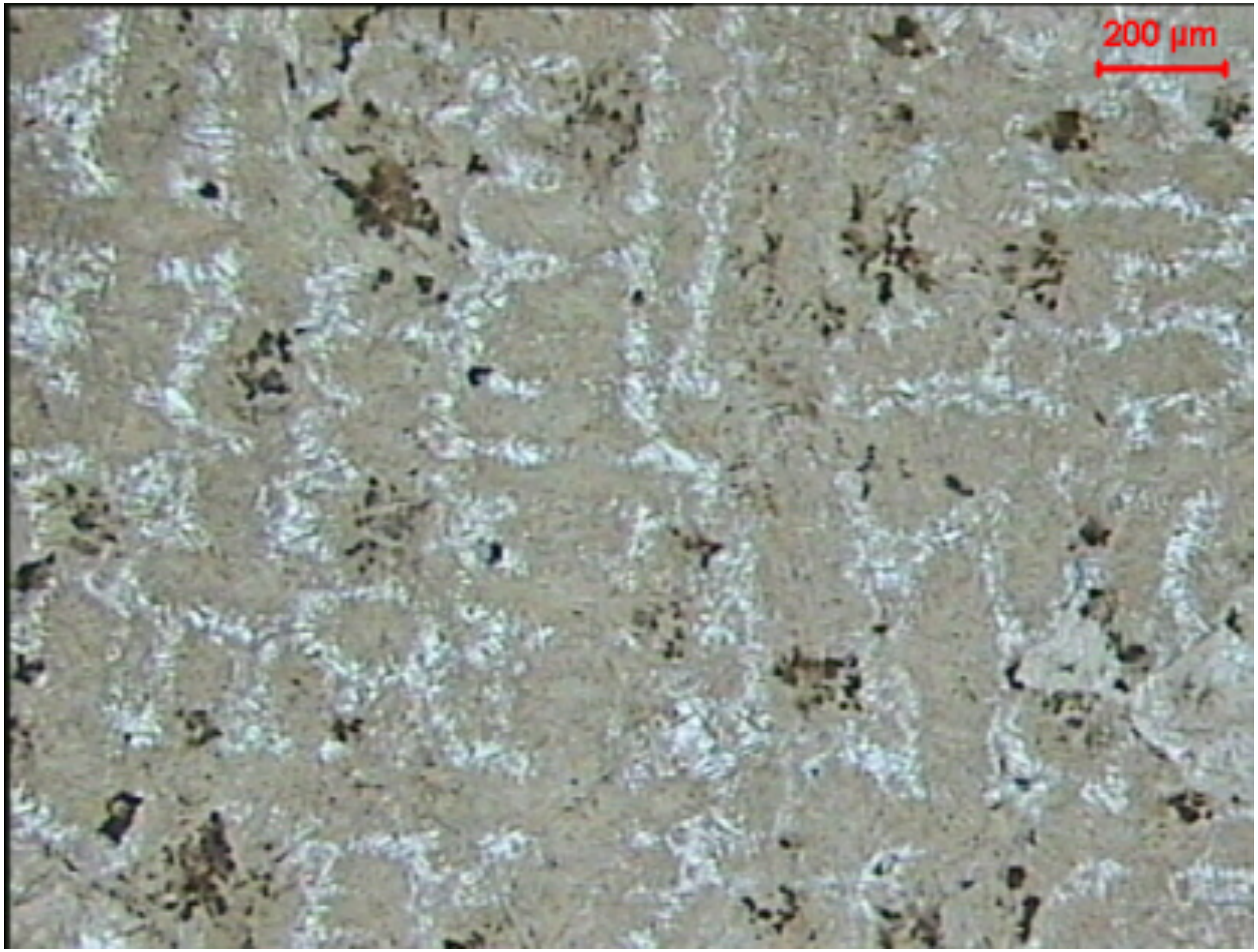
Processo de fundição

newton.fukumasu@usp.br

LFS

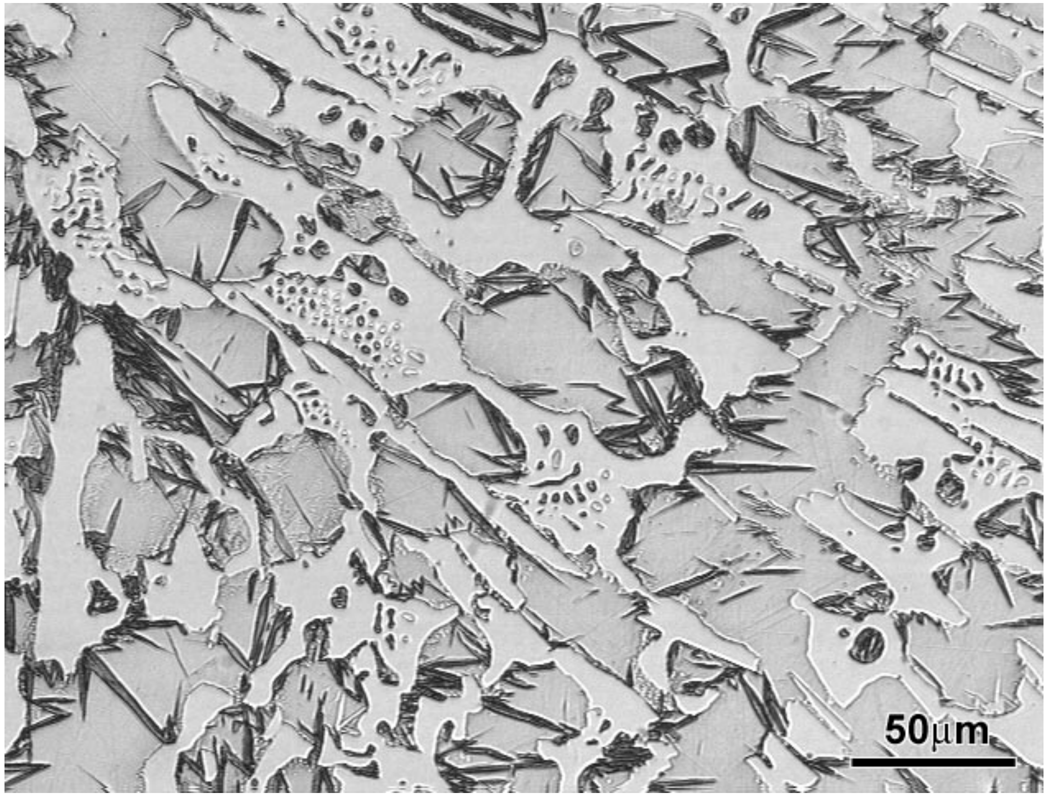
Pr

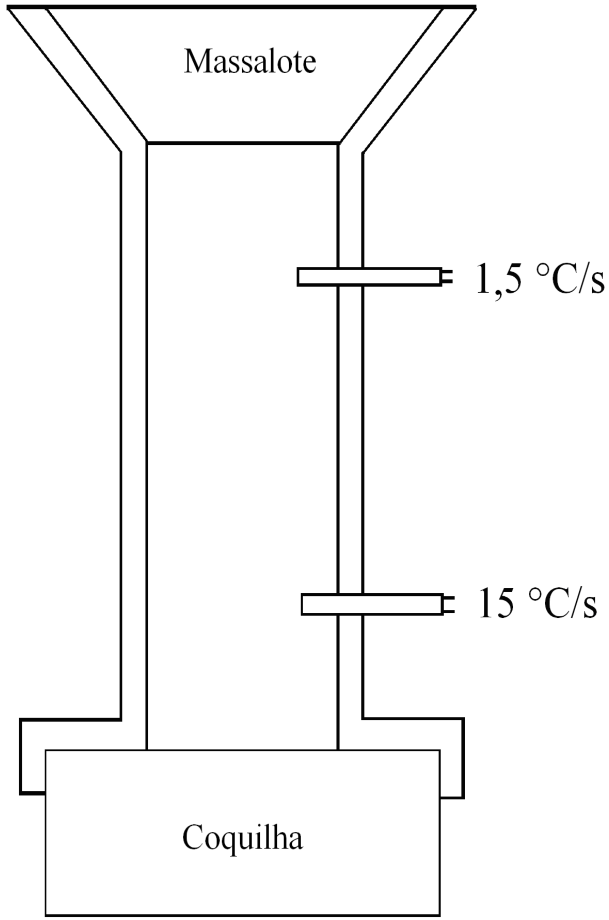
Processo de fundição



newton.fukumasu@usp.br

Processo de fundição

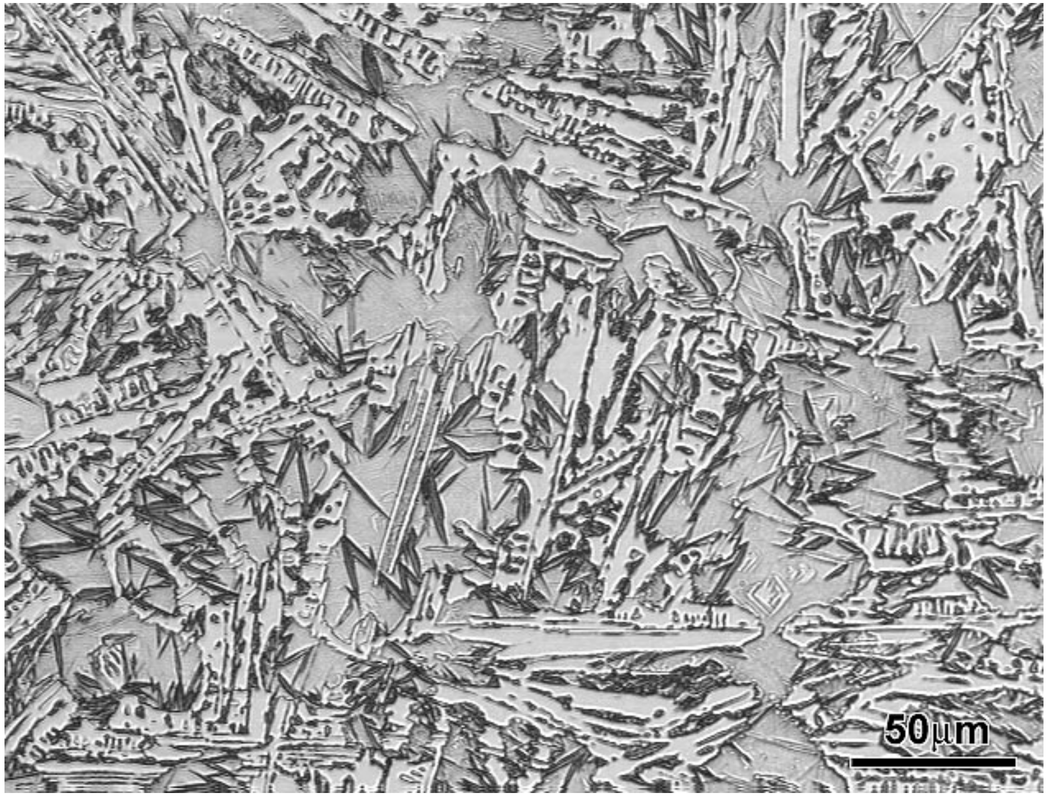


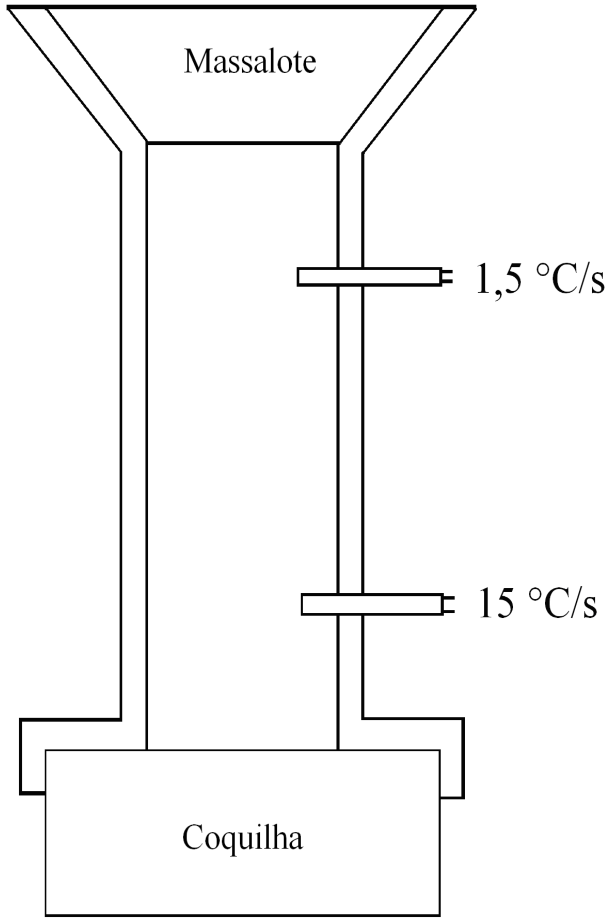


Coronado 2009

newton.fukumasu@usp.br

Processo de fundição

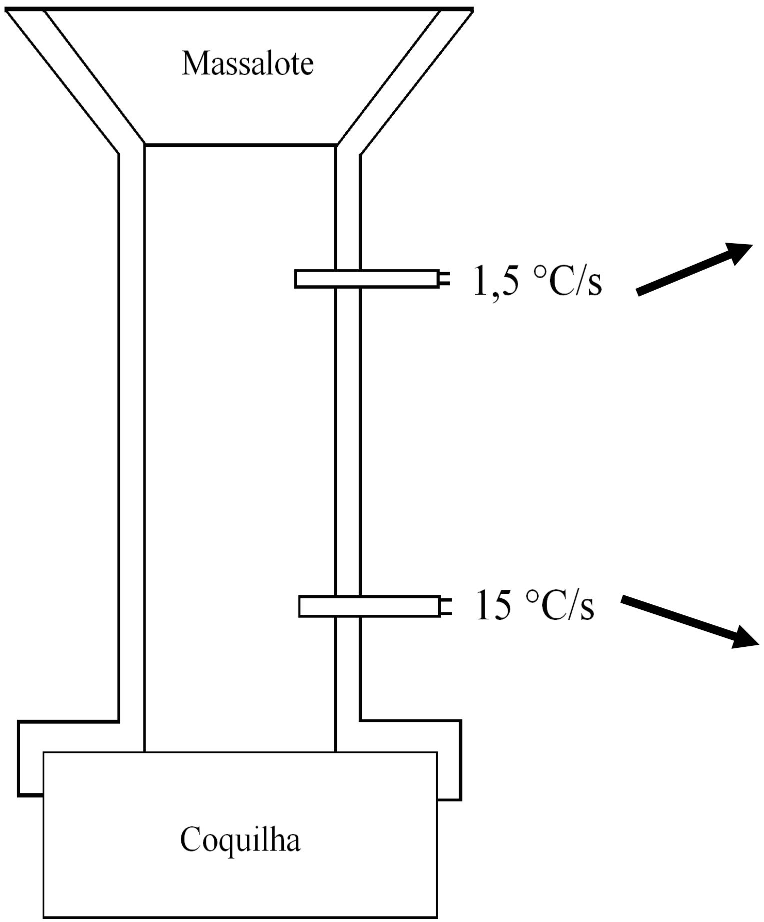




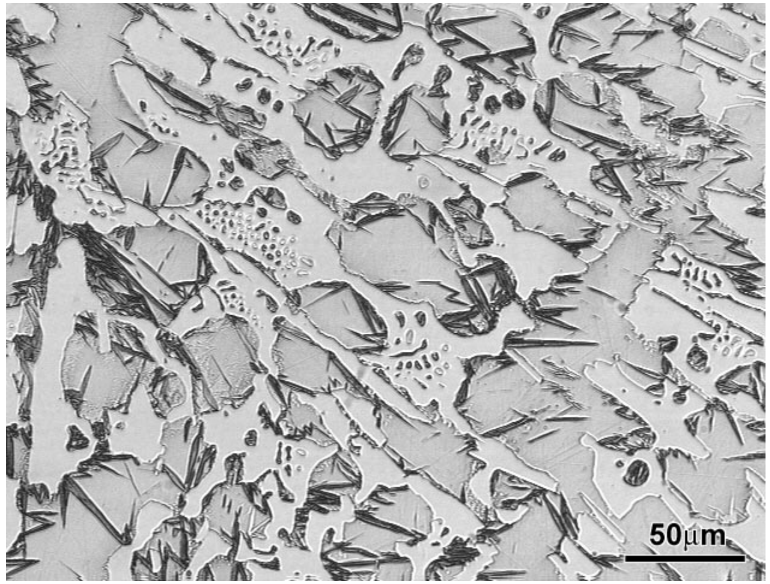
Coronado 2009

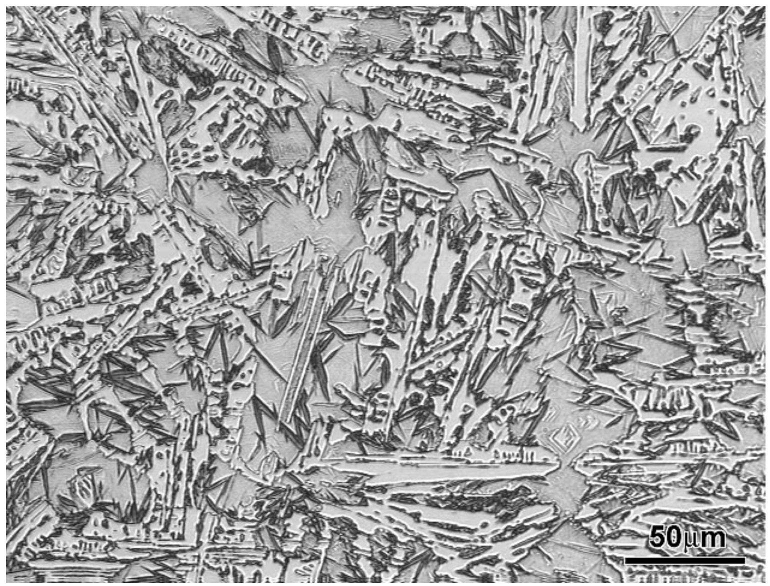
newton.fukumasu@usp.br

Processo de fundição



Coronado 2009

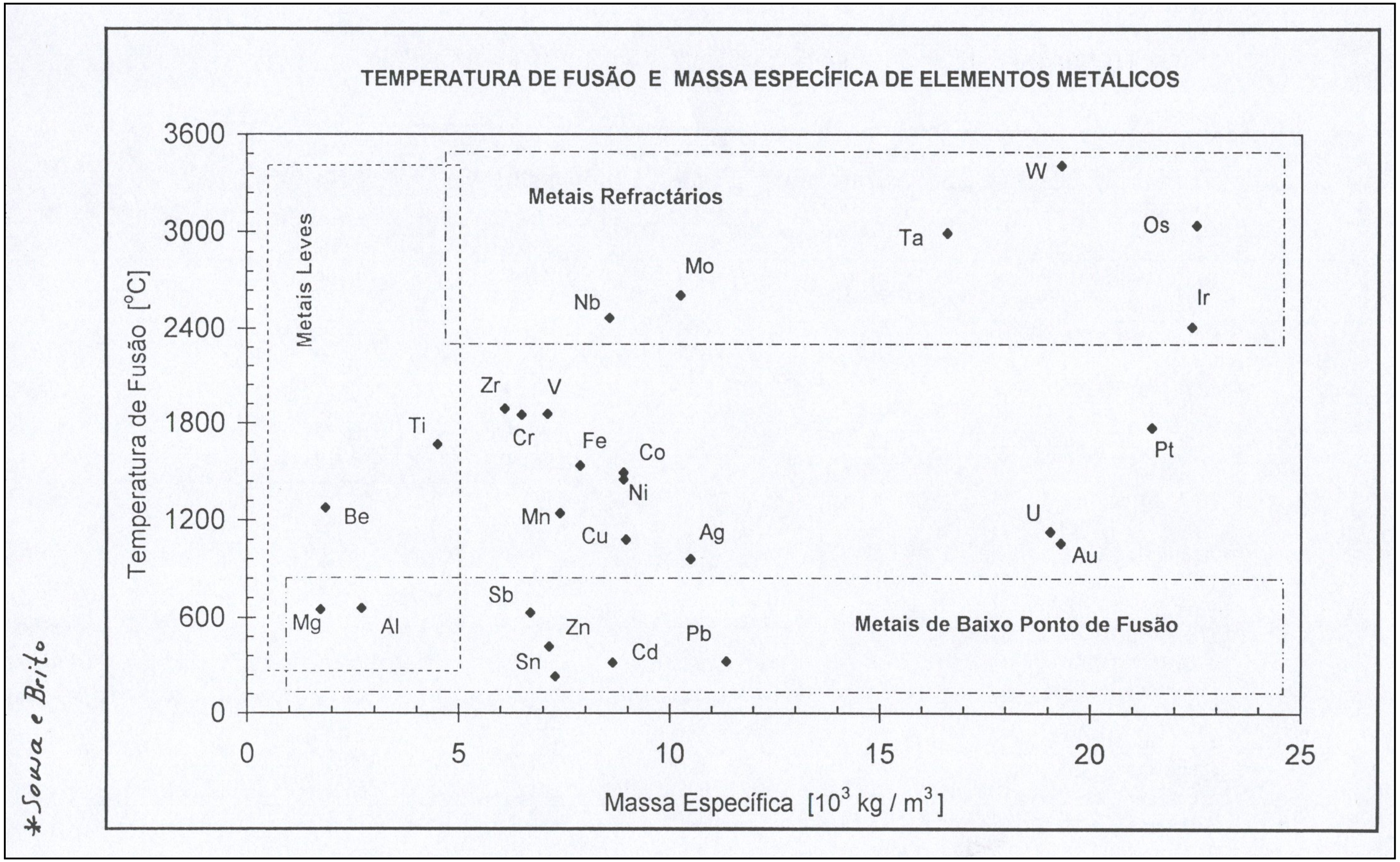




newton.fukumasu@usp.br

Ligas metálicas e precipitados

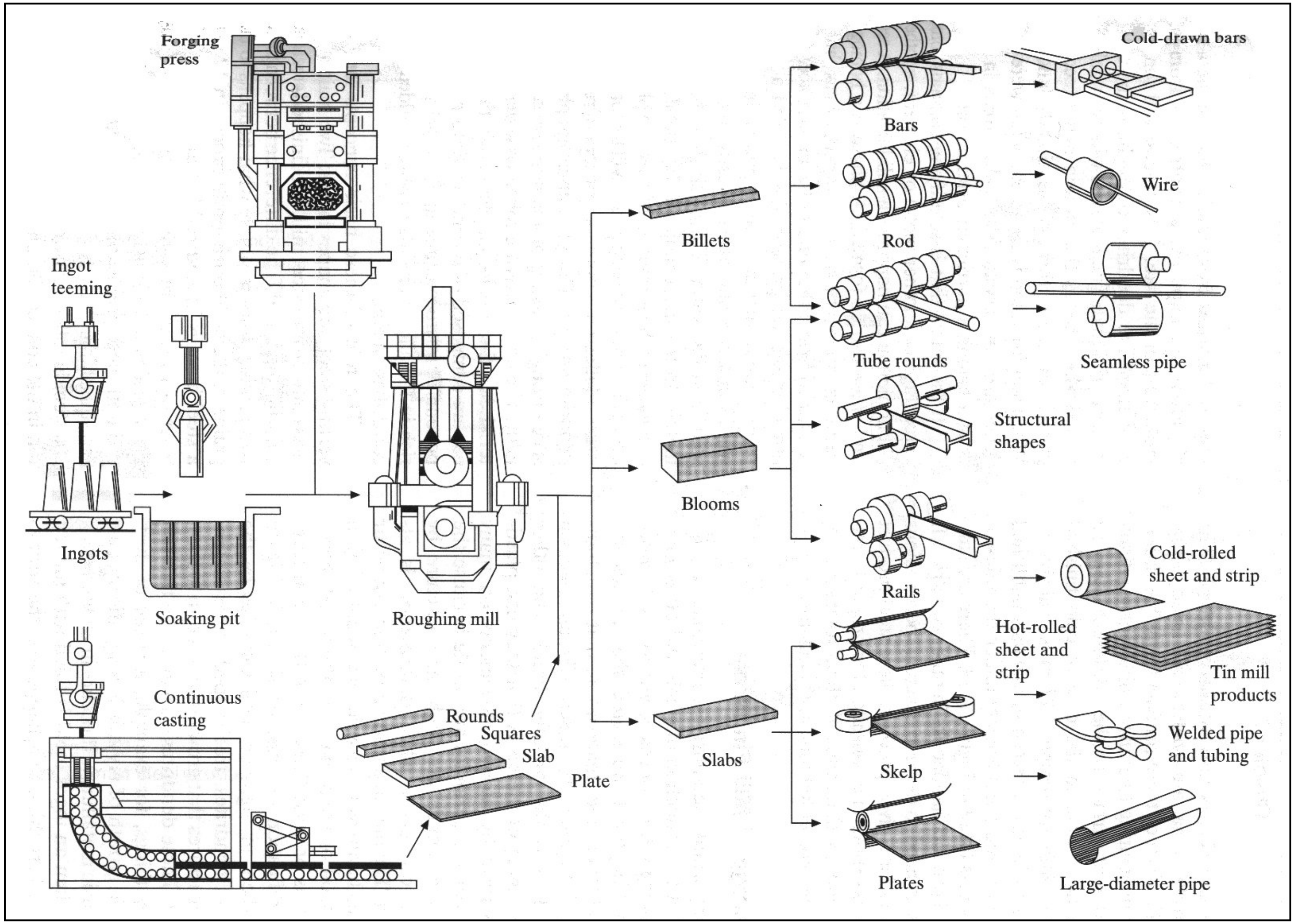
❖ **Ligas**



newton.fukumasu@usp.br

Processos siderúrgicos

- ❖ Fundição
- ❖ Laminação
- ❖ Forjamento



newton.fukumasu@usp.br