

The background is a blue gradient with white circuit-like lines in the corners. A yellow rectangular box with a black border is centered in the upper half of the slide.

# **SMM0193 – ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS I**

**Prof. Dr. José Benedito Marcomini**

## **Prof. Marcomini**

- **Engenharia de Materiais (UFSCar-1988);**
- **Mestrado em Engenharia Mecânica: Materiais e Processos, área de concentração: Transformação de fases, Fragilização e Fratura (Unicamp-2008);**
- **Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais: área de concentração: Transformação de Fases, Fragilização e Fratura (Poli-USP-2012);**
- **Pós-doutorado: Propagação de trincas, por fadiga, em aço microligado, em ambientes agressivos (UFSCar-2017);**
- **Experiência industrial: 22 anos em indústrias em vários segmentos: automotiva, equipamentos de óleo & gás, movimentação, mineração, eólica, siderurgia e hidromecânicos;**
- **Atua na área de aços há 30 anos;**
- **USP- desde 2013;**
- **Áreas de atuação: Metalurgia Física/Transformação de fases, Comportamento Mecânico e Análise de Falhas.**

**Metodologia:** serão disponibilizados no moodle (e-disciplinas):

- **Slides** da aula em pdf;
- **Vídeos**;
- **Dúvidas** na aula ou por e-mail para:
  - **Julia Nascimento Pereira**, doutoranda do SMM, estagiária do PAE (**julianp@usp.br**) ;
  - José Benedito **Marcomini**, professor, (**jmarcomini@usp.br**)

# Programa

## CALENDÁRIO 1º. Semestre 2022

### SMM 0193 – Engenharia e Ciência dos Materiais I

SEMANA	TEMA	TÉCNICO	DATA
1ª	Semana dos calouros		14 a 18/03
2ª	<b>Teoria:</b> Introdução aos Materiais e; Estrutura dos sólidos cristalinos; Imperfeições em sólidos; Difusão, Grãos, Microestrutura. <b>Teoria:</b> Diagramas de fases: Isomorfo		21 a 25/03
3ª	<b>Teoria:</b> Diagrama de fases: Eutético, Regra da alavanca		28/03 a 01/04
	<b>Prática1:</b> <i>Construção do diagrama a partir das curvas de resfriamento; Utilização da regra da alavanca, relacionamento com as microestruturas observadas.</i>	Pedro e Ricardo	
4ª	<b>Teoria:</b> Diagrama Fe-C; Tipos de aços (normas); tratamentos térmicos de recozimentos (todos os tipos), Normalização; Microestruturas		04 a 08/04
	<b>Prática:</b> <i>Preparação metalográfica e observação de aços recozidos e normalizados.</i>	Alberto e João	
5ª	<b>Semana Santa e recesso</b>		<b>11 a 15/04</b>
6ª	<b>Tiradentes e recesso</b>		<b>18 a 22/04</b>
7ª	<b>Teoria:</b> Propriedades Mecânicas; Propriedades mecânicas dos aços I; Ensaios de dureza e impacto.		25 a 29/04
	<b>Prática:</b> <i>Ensaios de dureza e de impacto</i>	Douglas e Denílson	

# Programa

8ª	<b>Teoria:</b> Propriedades mecânicas; Propriedades mecânicas dos aços II, Ensaio de Tração / compressão / fluência e fadiga.	Douglas	02 a 06/05
	<b>Prática:</b> Ensaio de tração		
9ª	<b>Teoria:</b> Ferros Fundidos; Tipos e propriedades; Ferros Fundidos ligados.	Alberto e Douglas	09 a 13/05
	<b>Prática:</b> Microestruturas de ferros fundidos		
10ª	<b>Prova 1</b>		<b>16 a 20/05</b>
11ª	<b>Teoria:</b> Trabalho a quente e a frio; Recristalização; Conformação de Metais, Metalografia quantitativa	Alberto	23 a 27/05
	<b>Prática:</b> Metalografia quantitativa; Padronização manual x computador		
12ª	<b>Teoria:</b> Diagrama TTT (CCT / IT) construção e uso; Influência de elementos de liga; Meios de resfriamento. <b>Teoria:</b> Temperabilidade; Ensaio Jominy; Curva em U; Diâmetro crítico; Curvas de correlacionamento	João e Denílson	30/05 a 03/06
	<b>Prática:</b> Ensaio Jominy; Levantamento de curva.		
13ª	<b>Teoria e Prática:</b> Exercícios de temperabilidade		06-10/06
14ª	<b>Corpus Christ e recesso</b>		<b>13 a 17/06</b>
15ª	<b>Teoria:</b> Têmpera e revenido	Denilson e Pedro	20 a 24/06
	<b>Prática:</b> Têmpera de aços, demonstração, dureza, metalografia		
16ª	<b>Teoria:</b> Aços especiais; Corrosão e proteção contra corrosão.		27/06 a 01/07
	<b>Prática:</b> Corrosão	Alberto e Pedro	

# Programa

17ª	<b>Teoria:</b> Tratamentos termoquímicos; Tipos de desgaste		04 a 08/07
	<b>Prática:</b> Observação de microestruturas cementadas	Alberto e Pedro	
18ª	<b>Teoria:</b> Solubilização e precipitação		11 a 15/07
19ª	<b>Prova 2</b>		<b>18 a 22/07</b>

$$\text{Nota Final} = 0,8 \left[ \frac{(P1 + P2)}{2} \right] + 0,2 [\text{média Question}] \text{ maior ou igual a } 5$$

**Não haverá prova substitutiva!**

## **BIBLIOGRAFIA SUGERIDA**

**CALLISTER, W.D.** – Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução, Ed. LTC

**COSTA, A.L.C & MEI, P.R.** – Aços e ligas especiais. 2a.ed. Eletrometal, Sumaré, SP, 2006.

**COLPAERT, H.** – Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns, Ed. Blucher.2012.

**BARREIRO, J.A** – Tratamientos térmicos de los aceros. 8a.ed. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, 1985.

**CHIAVERINI, V.** – Aços e ferros fundidos. Associação Brasileira de Metais, SP, 1977.

**ASM Metals Handbook, vol. 4. 2009.**

**BROOKS, Charlie R.** – Principles of the heat treatment of plain carbon and low alloy steels, 1996.

**SUBARAO, E.C.;** **CHAKRAVORTY, D.;** **MERIAM, M.F;** **REGHAVAN V., SINGHAL, L.K.** – Experiências de ciências dos materiais. Ed. Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1973, pag. 236.

**GARCIA, A., SPIM, J. A., SANTOS, C. A,** Ensaio dos Materiais, Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000.

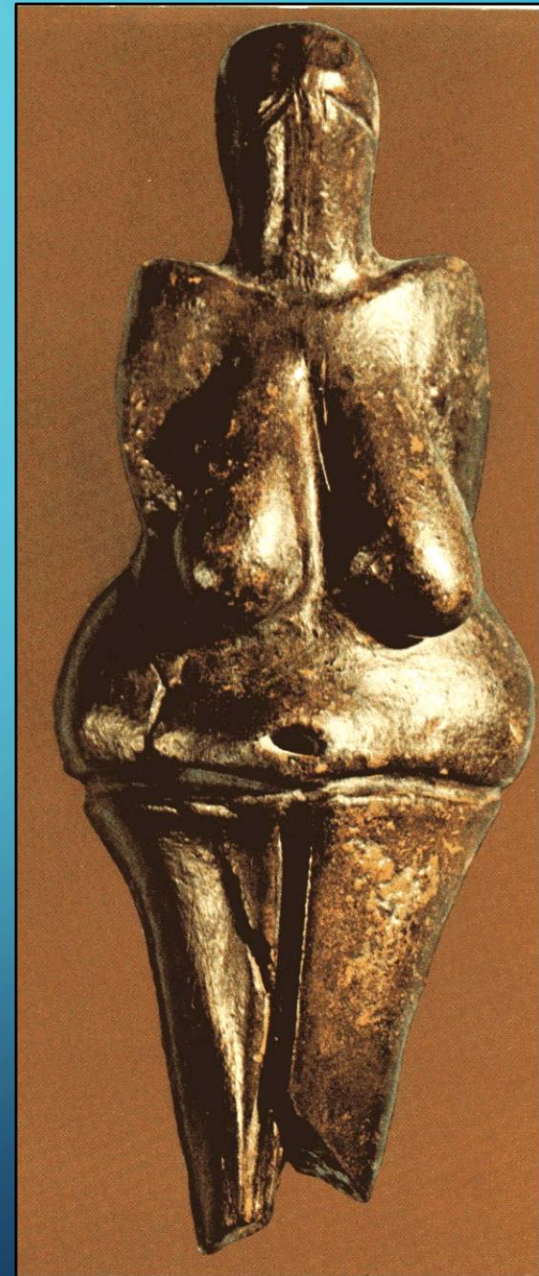
The background is a blue gradient with white circuit board traces in the corners. A yellow rectangular box is centered horizontally, containing the text 'INTRODUÇÃO' in bold black letters.

# INTRODUÇÃO



**Primeiro artefato fabricado pelo homem. Encontrada na atual República Tcheca**

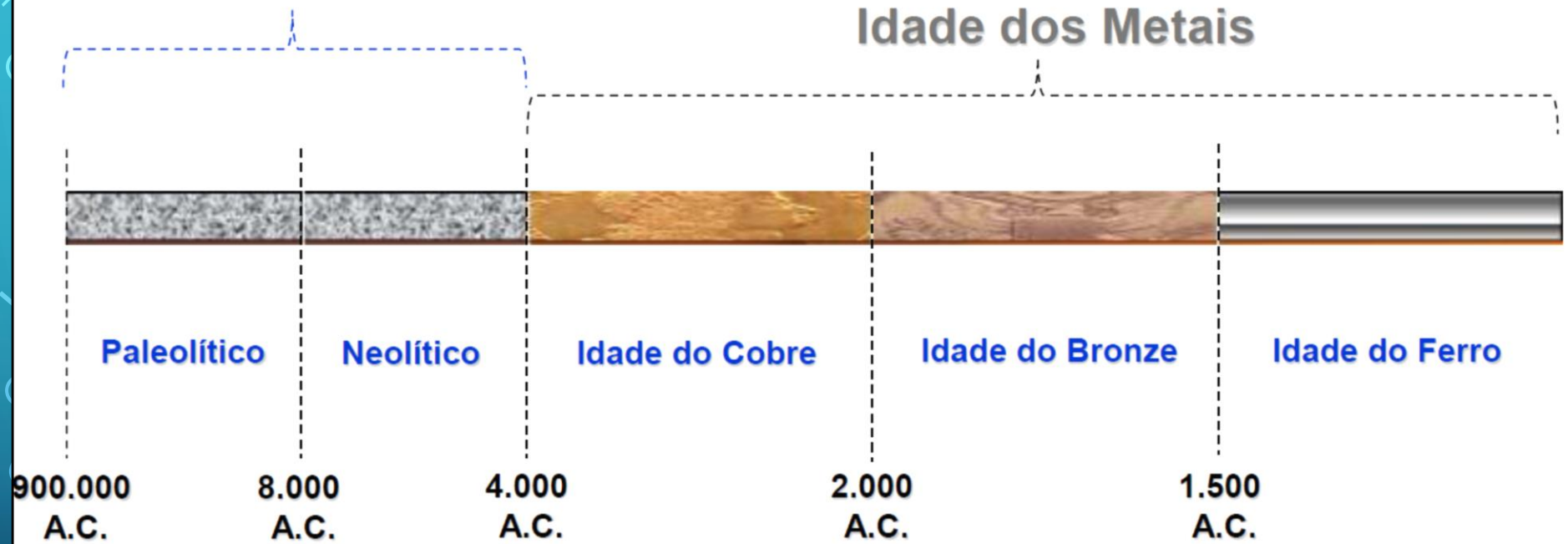
Imagem da “Vênus” de Dolní Věstonice, cerâmica (argila cozida) - datada de **23.000 a.C.** (Paleolítico)



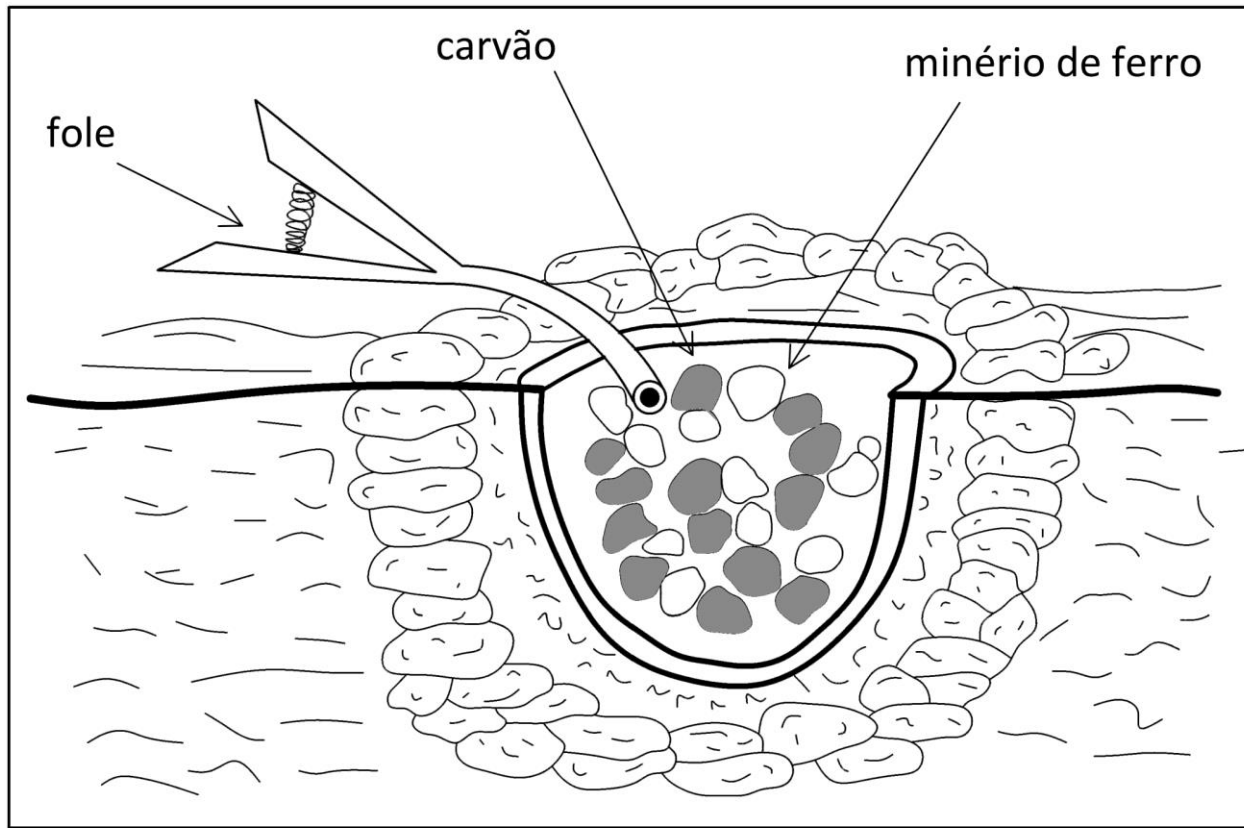
# Histórico

## Idade da Pedra

## Idade dos Metais



**1.200 - 1400 a.C., os Hititas no sul da atual Turquia desenvolveram um processo para produção de espadas de “aço” por meio da redução direta do ferro**



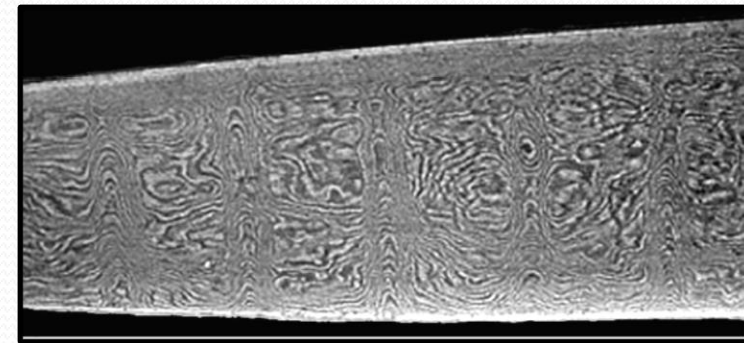


# HISTÓRIA – PRIMEIRO MILÊNIO D.C. – AÇO DE DAMASCO



	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Cu
Damascus	1.41	<0.01	0.098	0.006	0.05	0.04	<0.01	<0.01	0.09

Journal of Materials Engineering and Performance 286—Volume 9(3) June 2000 *John D. Verhoeven*



J.D. Verhoeven, A.H. Pendray, and W.E. Dauksch 2004 September • JOM

Image source ([http://www.flickr.com/photos/jasleen\\_kaur/4211340481/](http://www.flickr.com/photos/jasleen_kaur/4211340481/))



# FABRICAÇÃO DO AÇO DE DAMASCO

Minas específicas da Índia

Minério com traços de V, Mn, Cr, Co E Ni.

Fundição com madeira da “Cassia auriculata” e folhas da “Calotropis gigantean”



Cassia auriculata



Calotropis gigantean

AÇO WOOTZ

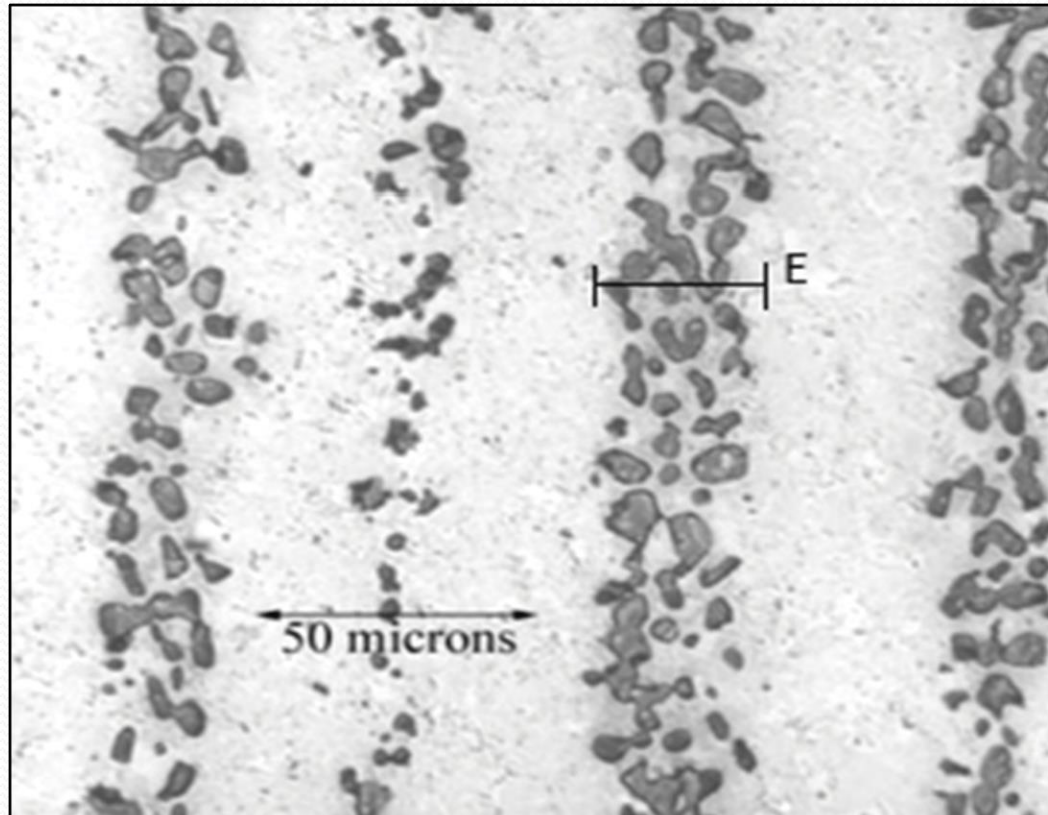
DAMASCO-SÍRIA

Forjamento e tratamentos térmicos cíclicos



# CONSEQUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA ECM E MF - ARQUEOMETALURGIA

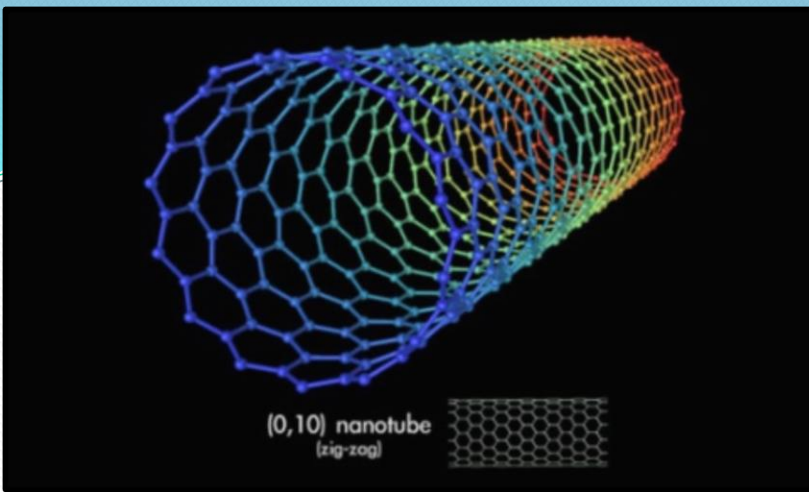
L o r e n a



**Figuras 4.** Bandas de partículas de cementita (região escura) dentro de uma matriz ferrítica (região clara da figura).

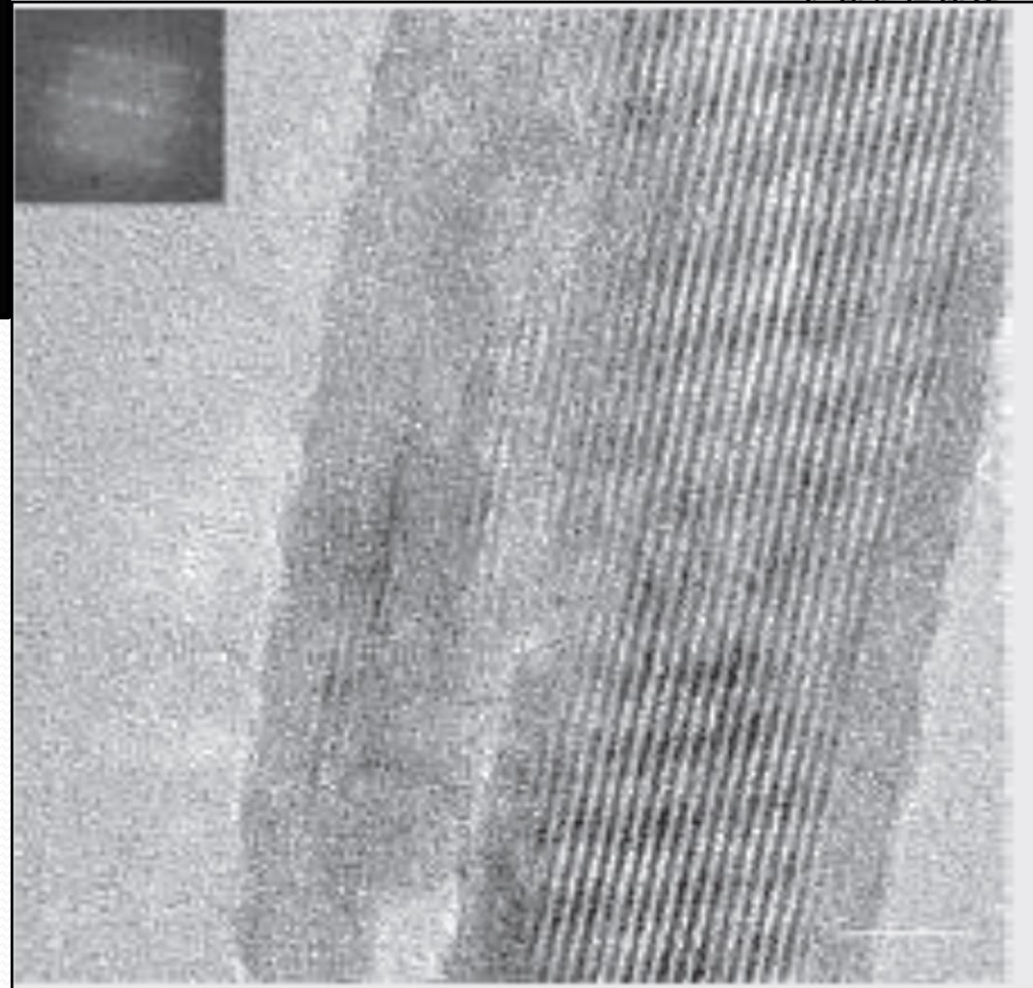
## CARBONETOS ALINHADOS EM MATRIZ PERLÍTICA.





**CIÊNCIA DOS  
MATERIAIS**

**“Remnants of  
cementite nanowires  
encapsulated by  
carbon  
Nanotubes”**



**NATURE|Vol 444|16 November 2006**

Em 1808, Alois von Widmanstätten (1753-1849) observou pela primeira vez estruturas ferríticas num meteorito caído em Agram [Smith, 1960].

## CIÊNCIA DOS MATERIAIS- BASE PARA A METALURGIA FÍSICA



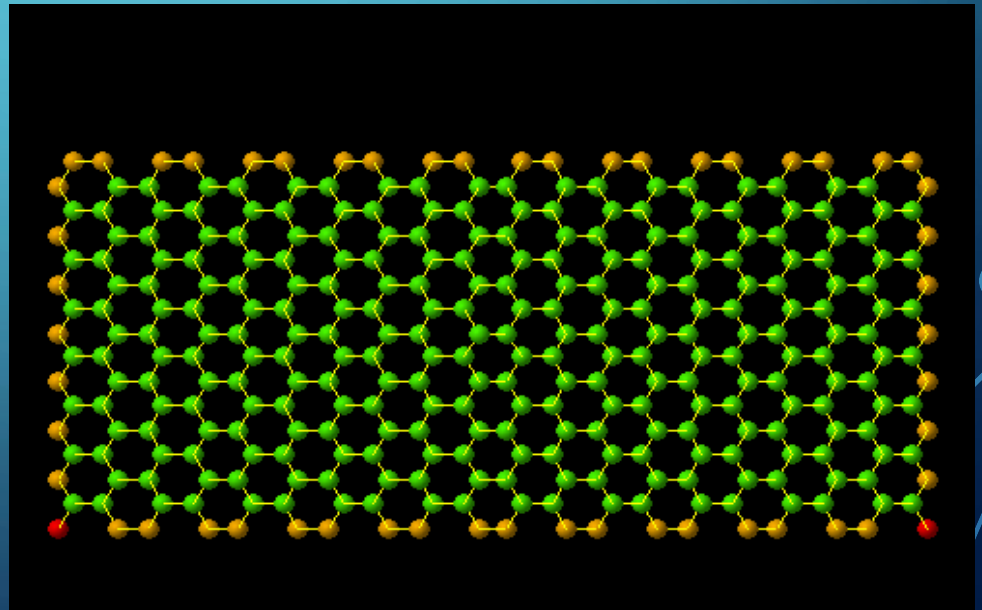
**Meteorito de Ferro-Níquel (siderito) – estrutura de Widmanstätten**

**Agram é o nome em alemão e russo da capital da croácia que em croata é Zagreb**

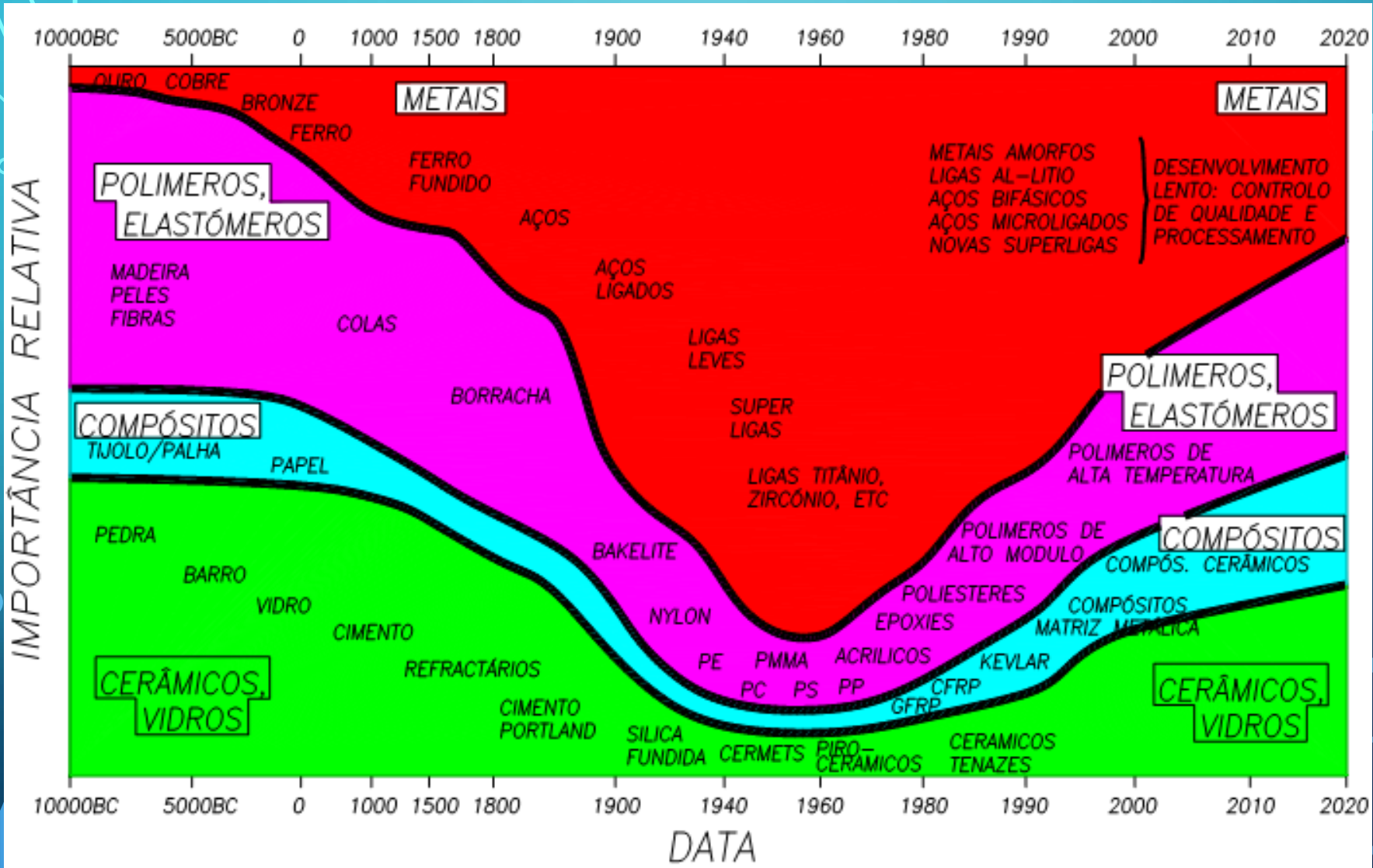


O termo “**polímero**” foi criado em **1832** pelo químico sueco **J. J. Berzelius** (1779-1848) e só veio a ser usado com o significado atual após **1922**. Os primeiros experimentos com polímeros foram realizados com borracha natural. O físico **Michael Faraday** fez uma **análise química** elementar da **borracha** em **1826**.





# EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS



# ENGENHARIA DE MATERIAIS

**MATERIAL**

**COMPOSIÇÃO  
QUÍMICA**

**+**

**PROCESSAMENTO**

**ESTRUTURA**

**P**

**R**

**O**

**P**

**R**

**I**

**E**

**D**

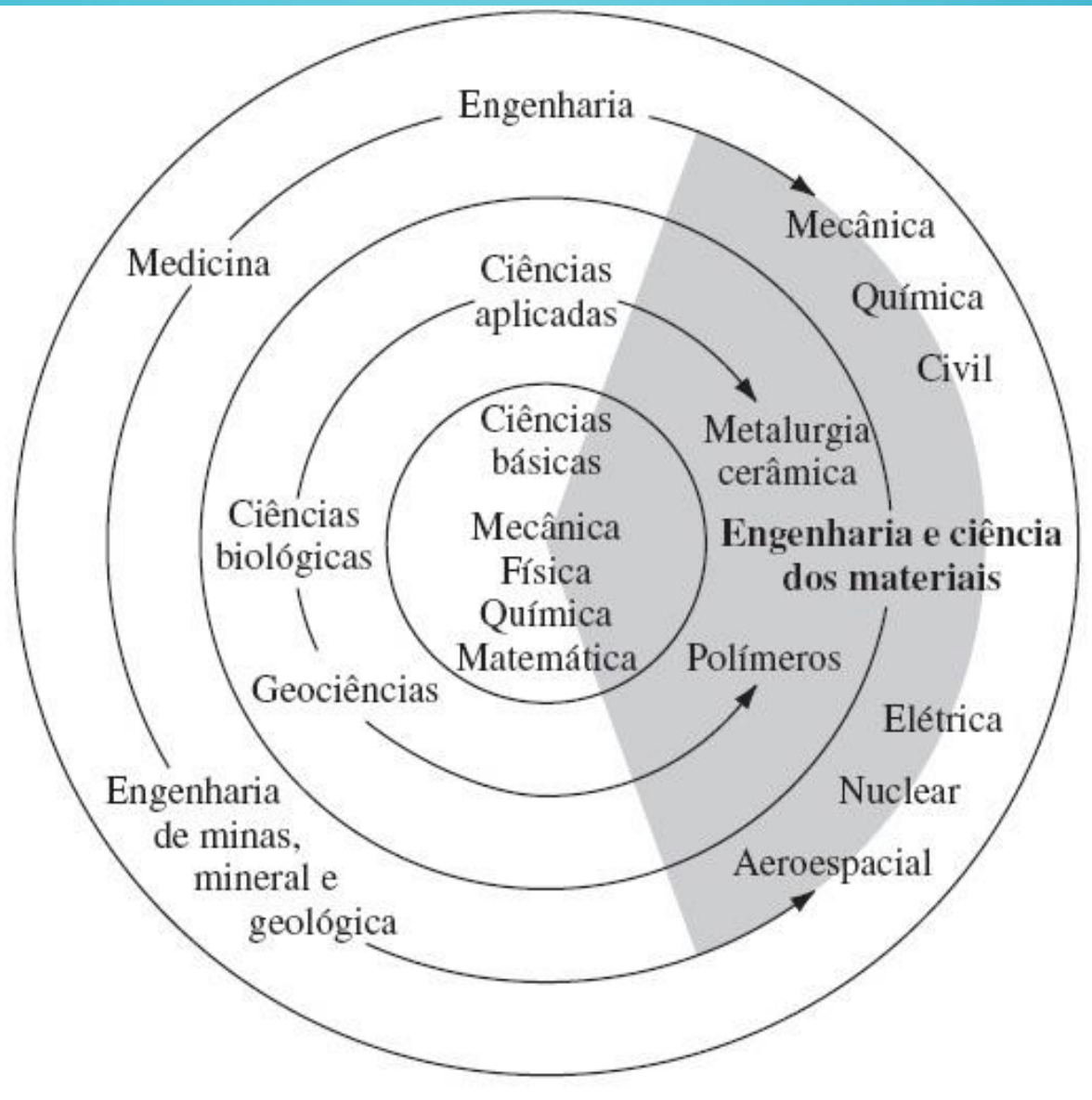
**A**

**D**

**E**



# ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

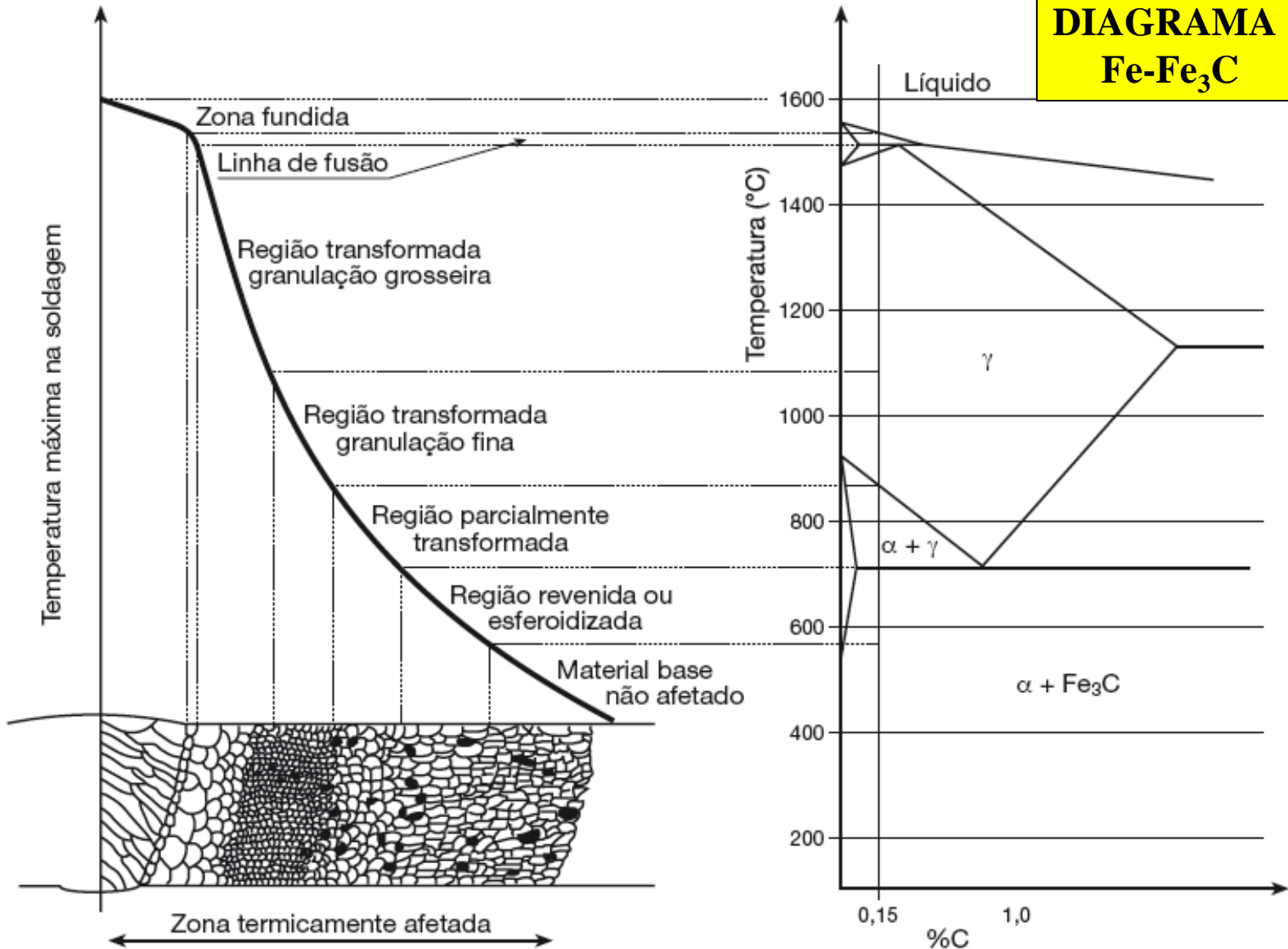


The background is a blue gradient with white circuit board traces in the corners. The title is centered in a yellow box.

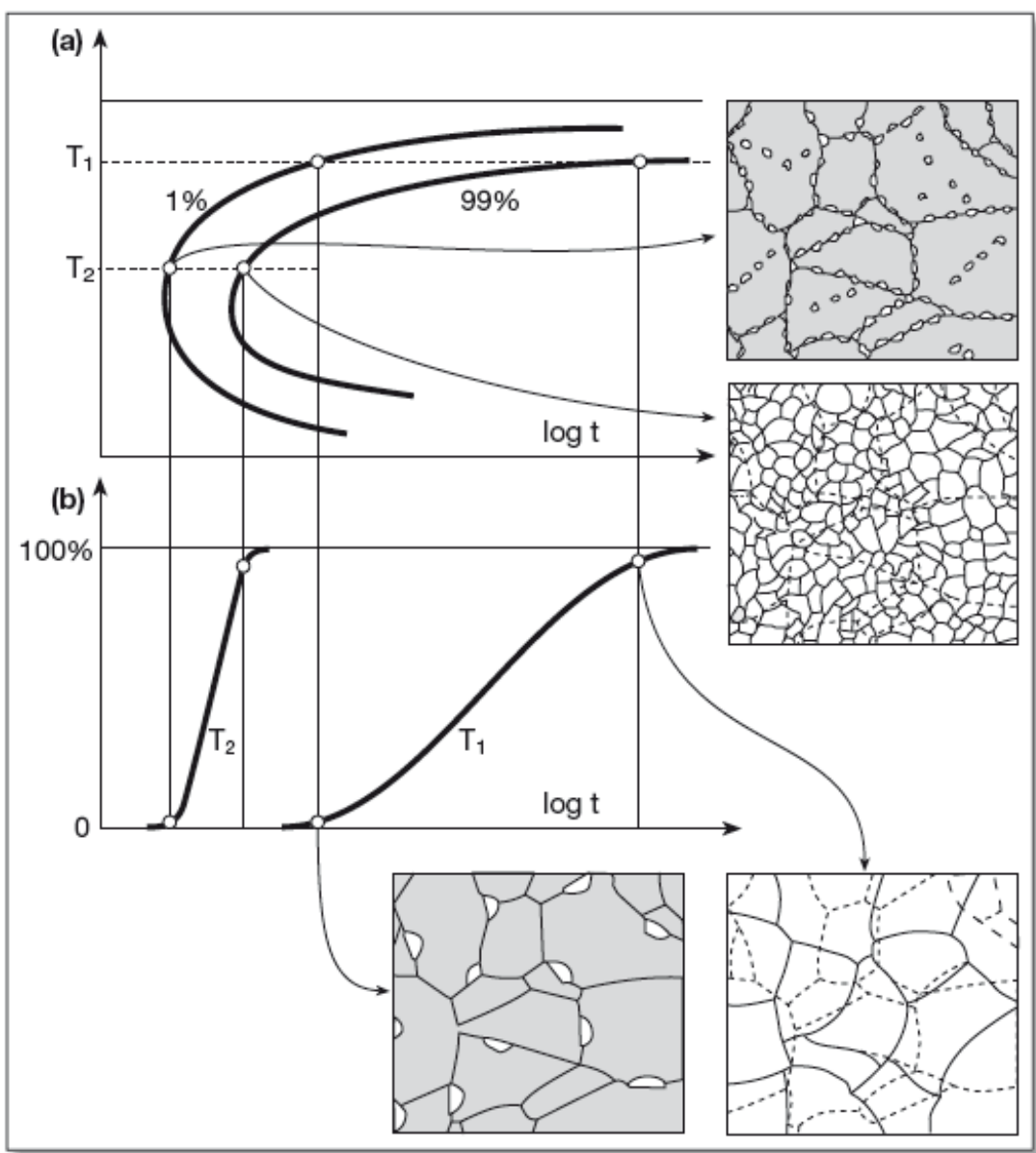
# **APLICAÇÃO DA ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS**

# SOLDAGEM

## DIAGRAMA Fe-Fe<sub>3</sub>C



# SOLDAGEM- RESFRIAMENTO RÁPIDO-FORA DO EQUILÍBRIO CURVAS TRC





# DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BARRAS DE PROTENSÃO.

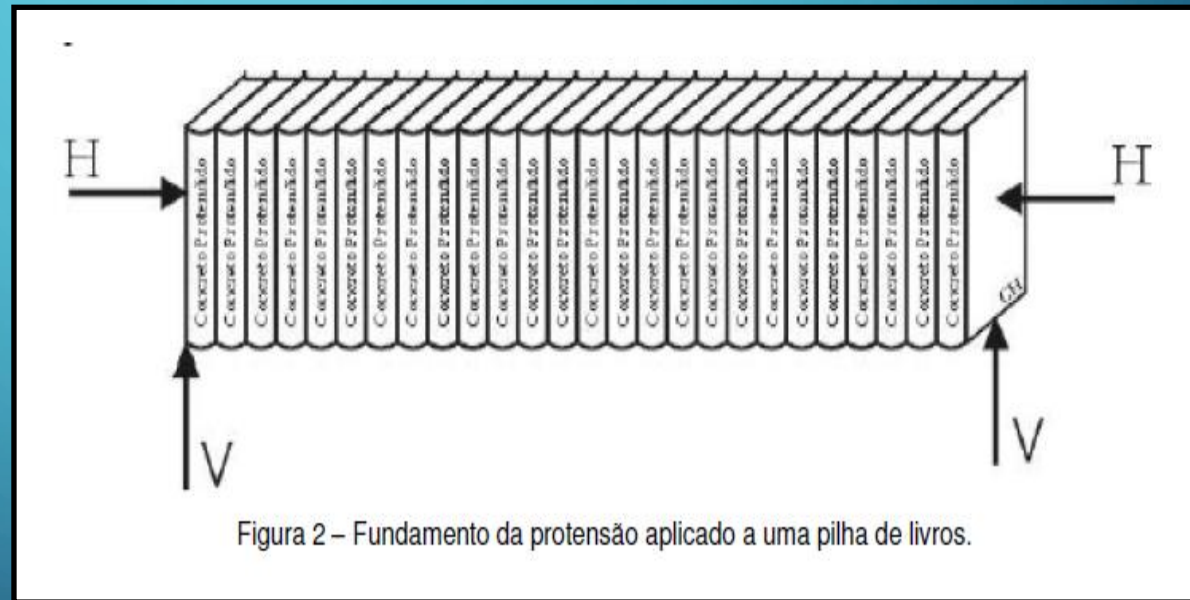


Figura 2 – Fundamento da protensão aplicado a uma pilha de livros.

## Pontes

Estaiadas



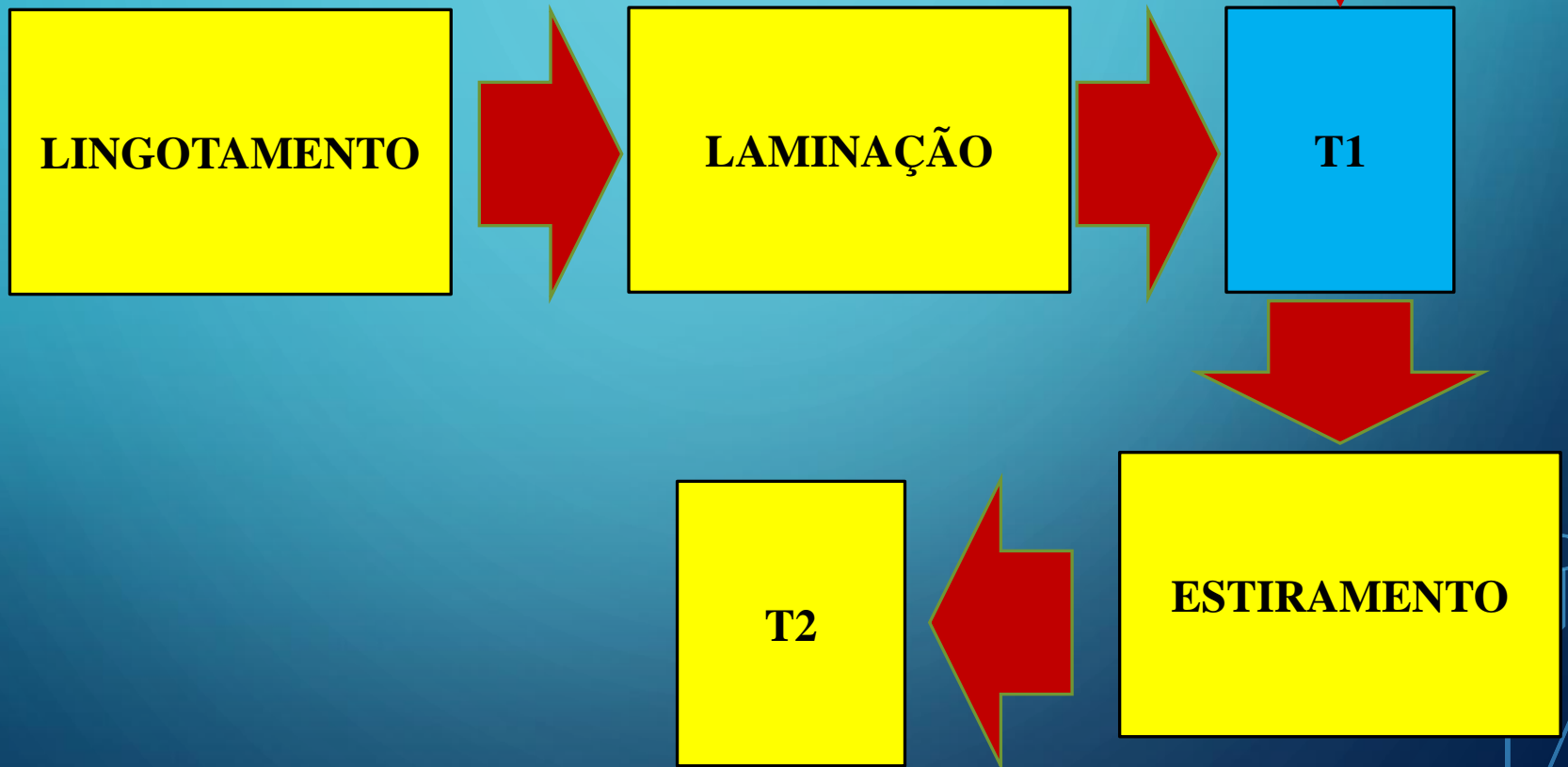
Arcos



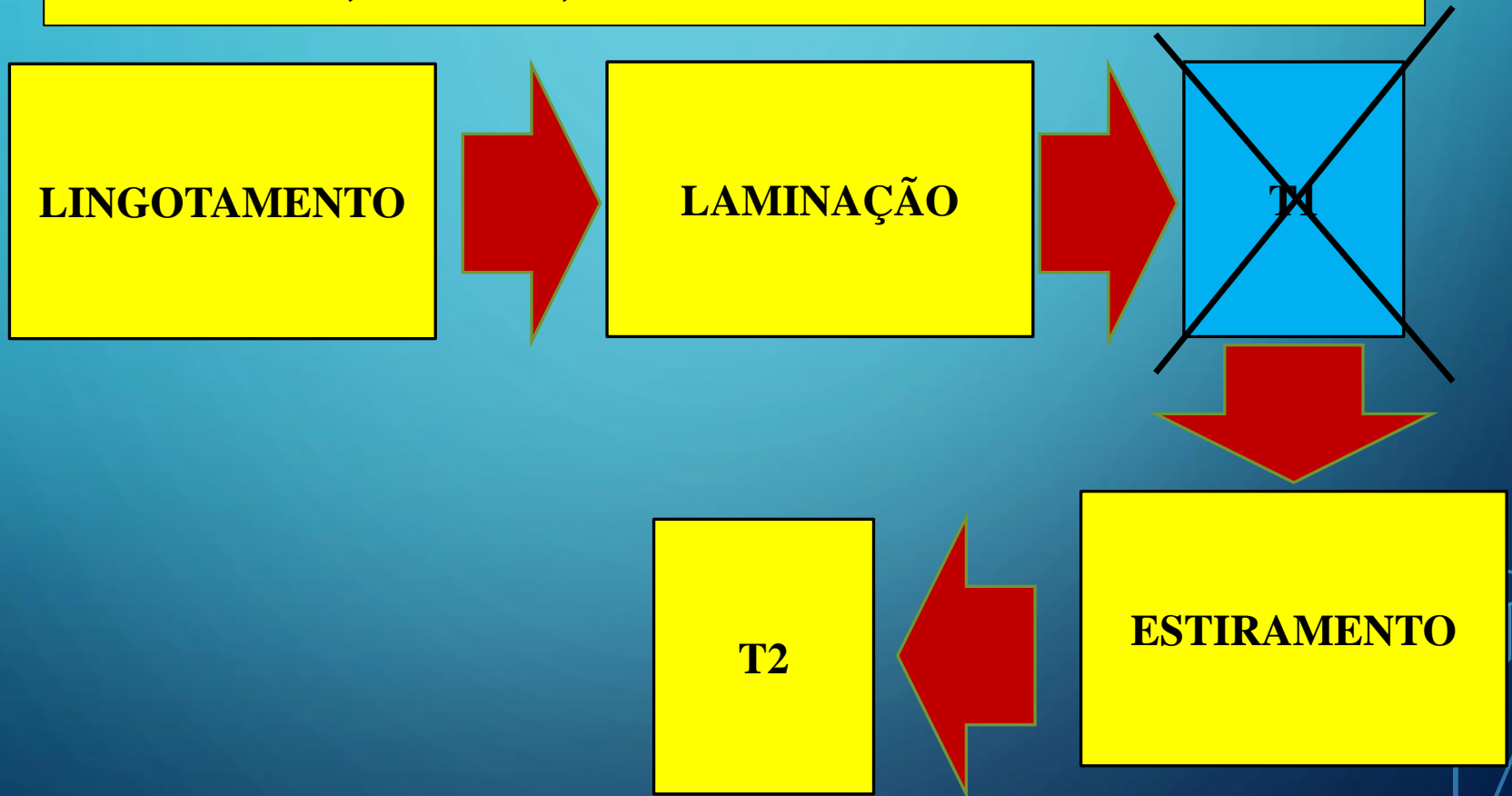


# COMO ERA O PROCESSO?

POR QUÊ? FRAG. POR H<sub>2</sub>



**COM CONHECIMENTO DA ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS FOI POSSÍVEL A ELIMINAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO APÓS LAMINAÇÃO: REDUÇÃO DE TEMPO, ENERGIA, CUSTO, OU SEJA, AUMENTO DE PRODUTIVIDADE!**





**BIELAS SAE 1541 X 27MnSiVS6:  
METALURGIA, PROCESSO DE FORJAMENTO,  
USINABILIDADE, PROPRIEDADES  
MECÂNICAS E ATENDIMENTOS AOS  
REQUISITOS OPERACIONAIS**

**ALESSANDRO TEIXEIRA NETO**

**ANTÔNIO JOSÉ DE ARAUJO PÔRTO**

**EDWARD WERNINGHAUS**

**JOSÉ BENEDITO MARCOMINI**

**MAURO VALADÃO**



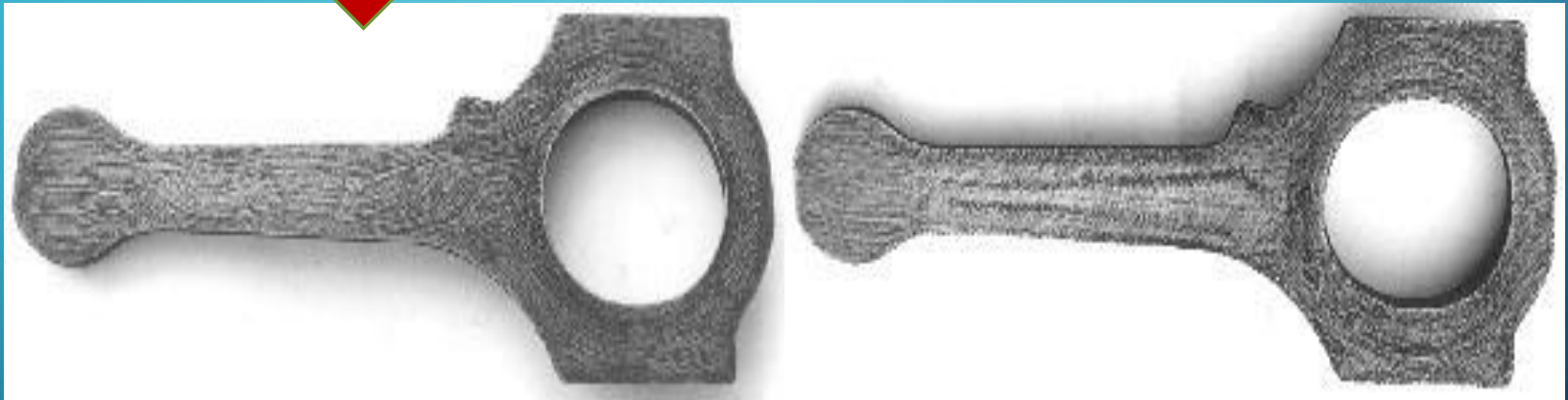
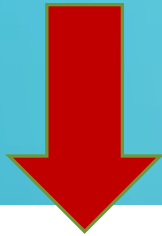
**ThyssenKrupp Metalúrgica Campo Limpo**

## CROSS WEDGE ROLLING



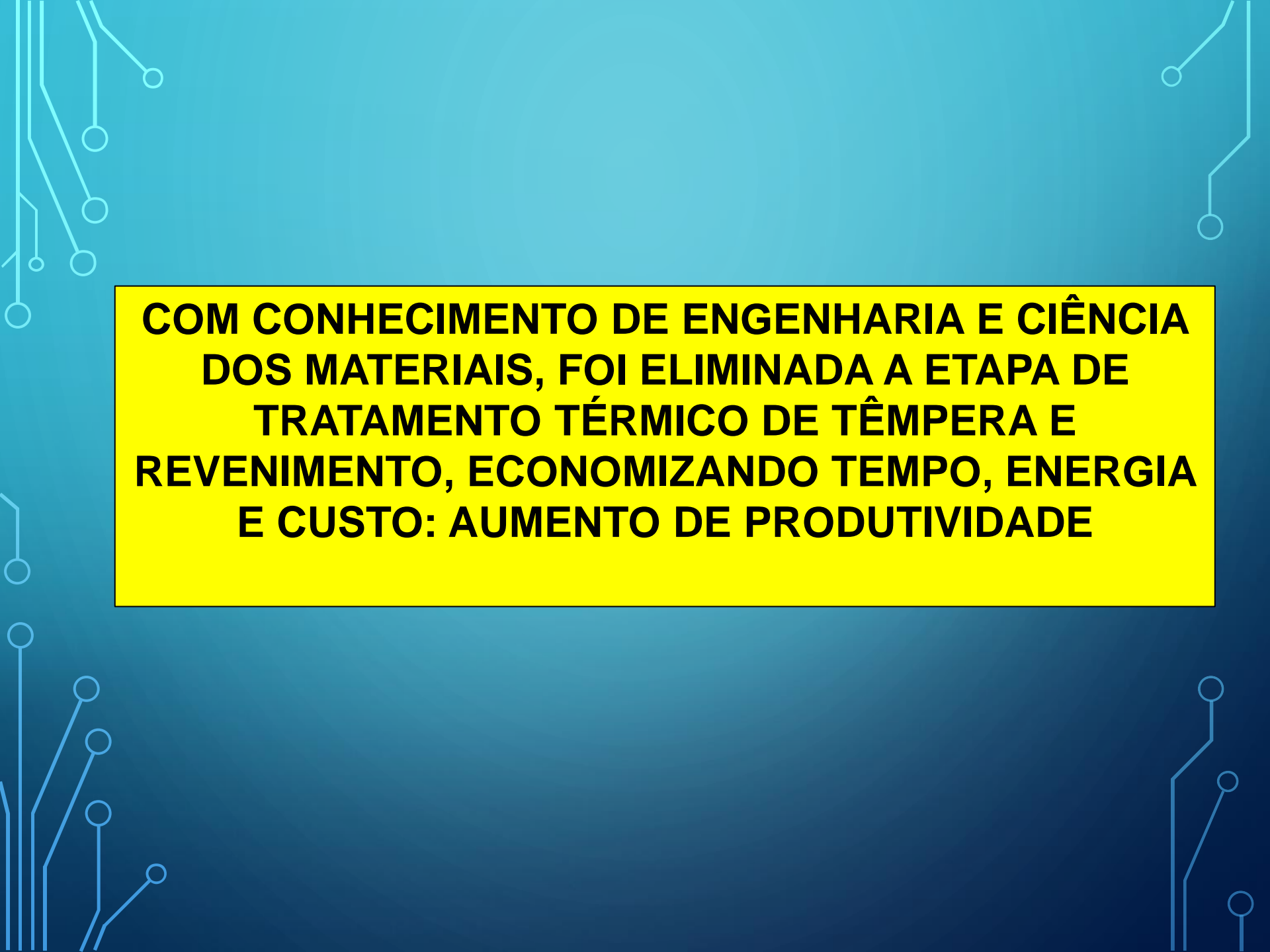
Figura 2 – Laminadoras Convencional e Transversal

## CROSS WEDGE ROLLING



Fibramento CWR e convencional





**COM CONHECIMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, FOI ELIMINADA A ETAPA DE TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA E REVENIMENTO, ECONOMIZANDO TEMPO, ENERGIA E CUSTO: AUMENTO DE PRODUTIVIDADE**

**NA PIOR CONDIÇÃO, SE O CARRO FICASSE LIGADO ININTERRUPTAMENTE, LEVARIA MAIS DE 300 ANOS PARA FALHAR POR FADIGA.**

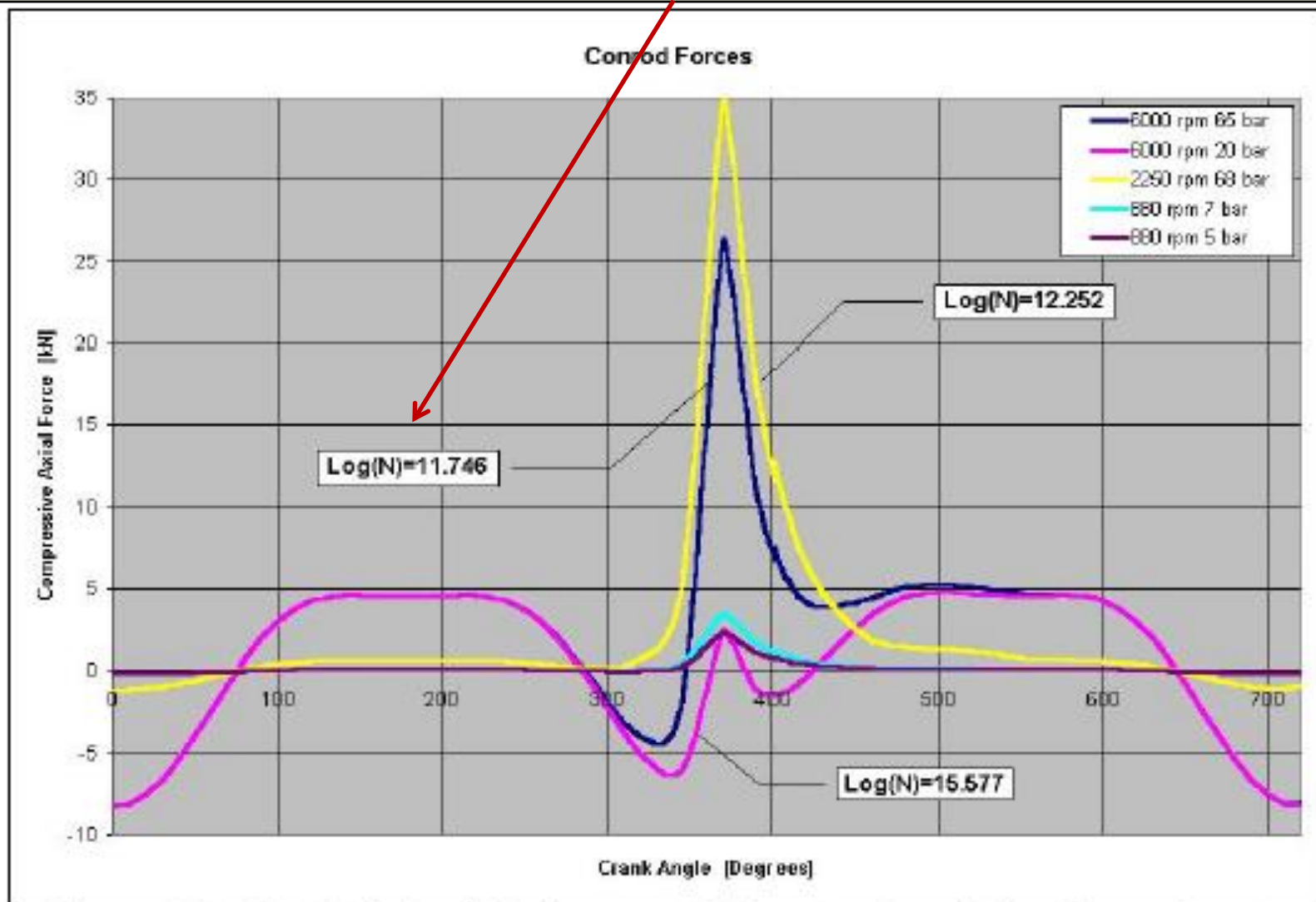


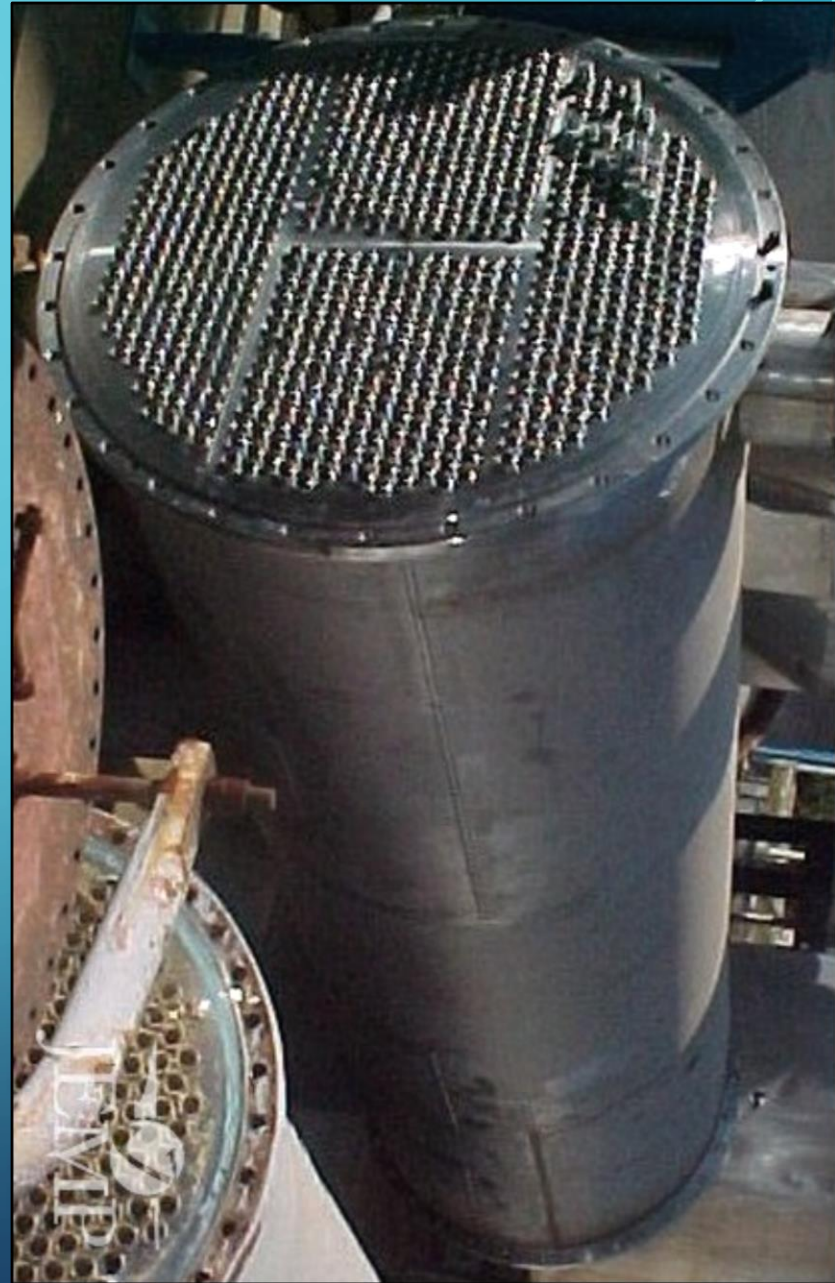
Figura 10 – Resistência à Fadiga para Diferentes Condições Operacionais

**DEPOIS DESTE DESENVOLVIMENTO, A FORD  
PASSOU A ADOTAR A BIELA DO MOTOR ZETEC-  
ROCAM FABRICADA COM O AÇO MICROLIGADO.**

# **CASO DOS TAMPOS DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO**

**TAMPOS DE AÇO INOXIDÁVEL  
AUSTENÍTICO FORAM DEFORMADOS A  
FRIO – GERA FASE MARTENSÍTICA  
INDUZIDA POR DEFORMAÇÃO.**







**Aços da série 300 dependendo de sua composição química, podem apresentar a transformação:  $\delta \rightarrow \gamma + \sigma$**

**Martensita induzida por deformação  $\alpha'$ -  
estrutura cristalina CCC.**

**Fase  $\sigma$  fragiliza o aço. A indústria petroquímica controla o teor de Ferrita  $\delta$  por ensaio magnético por ferritoscópio.**

**Ferrita  $\delta$  e Martensita  $\alpha'$  tem estruturas similares- emitem campo magnético.**





**Conhecimento de Estrutura Cristalina (ECM)-  
metalografia 3D – foi evitado a reprovação do  
equipamento pronto.**



**CM DENTRO DO CONTEXTO INDÚSTRIA 4.0**



**MANUFATURA ADITIVA-IMPRESSÃO 3D-METAIS**



**PROBLEMA**



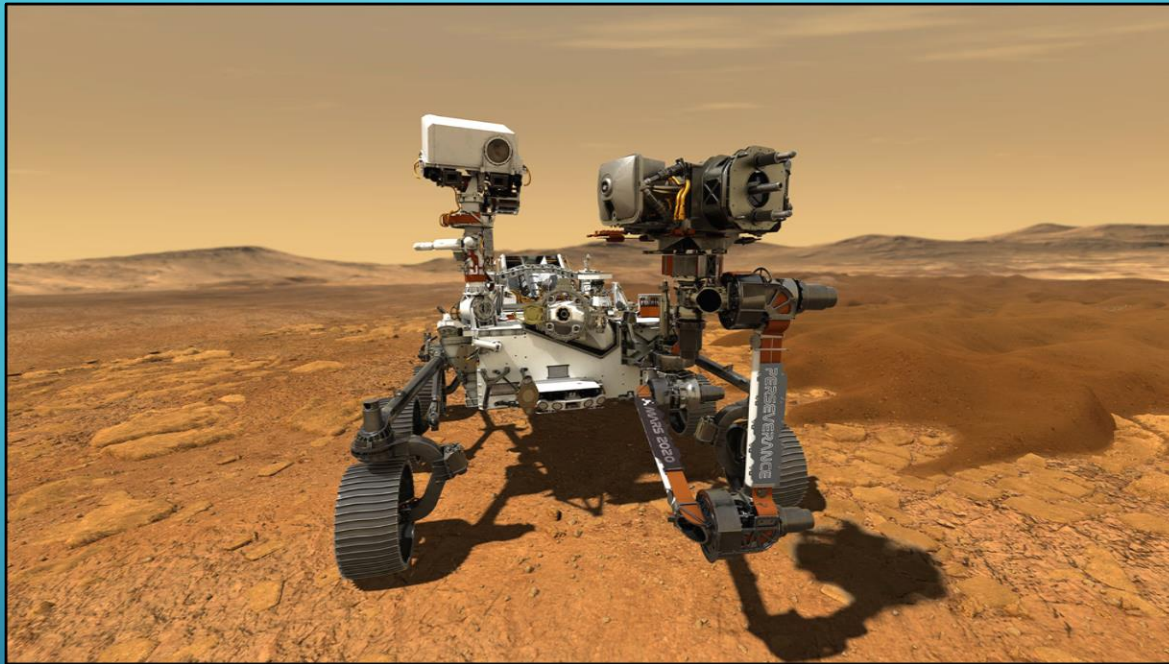
**ESTRUTURA-PROPRIEDADES**



**SOLUÇÃO VEM DA CIÊNCIA  
DOS MATERIAIS**

# EXEMPLO

**PERSEVERANCE: 11 PEÇAS FORAM FEITAS POR MANUFATURA ADITIVA (MA).**



**Utilização de resíduo de óleo (nanofibras de carbono) em peças aeroespaciais fabricadas com pó de alumínio por MA, aumenta 1,5 X a dureza e reduz porosidade..**

The background is a blue gradient with white circuit-like lines in the corners. These lines consist of straight paths that branch out and terminate in small circles, resembling a printed circuit board layout.

**FIM**