

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):

- **Videoaulas** gravadas;
- **Slides** da aula em pdf;
- **Vídeos**;
- **Dúvidas** por e-mail para:
  - **Ana Clara Lancarovici**, doutoranda do SMM, estagiária do PAE ([analancarovici@usp.br](mailto:analancarovici@usp.br)) ;
  - José Benedito **Marcomini**, professor, ([jmarcomini@usp.br](mailto:jmarcomini@usp.br))

# Programa

SEMANA	TEMA	DATA
1ª	Apresentação da Disciplina	12 a 26/04
2ª	<i>Feriado (Tiradentes)</i>	19 a 23/04
3ª	Introdução aos Materiais; Estrutura dos sólidos cristalinos; Imperfeições em sólidos; Difusão, Grãos, Microestrutura	26 a 30/04
4ª	Diagrama de fase- construção e utilização	03 a 07/05
6ª	Propriedades Mecânicas; Propriedades mecânicas dos aços I; Ensaio de dureza e impacto.  <b>1ª lista de exercícios</b>	17 a 21/05
7ª	Propriedades mecânicas; Propriedades mecânicas dos aços II, Ensaio de Tração / compressão / fluência e fadiga.	24 a 28/05
8ª	<i>Feriado (Corpus Christi)</i>	31/05 a 04/06

# Programa

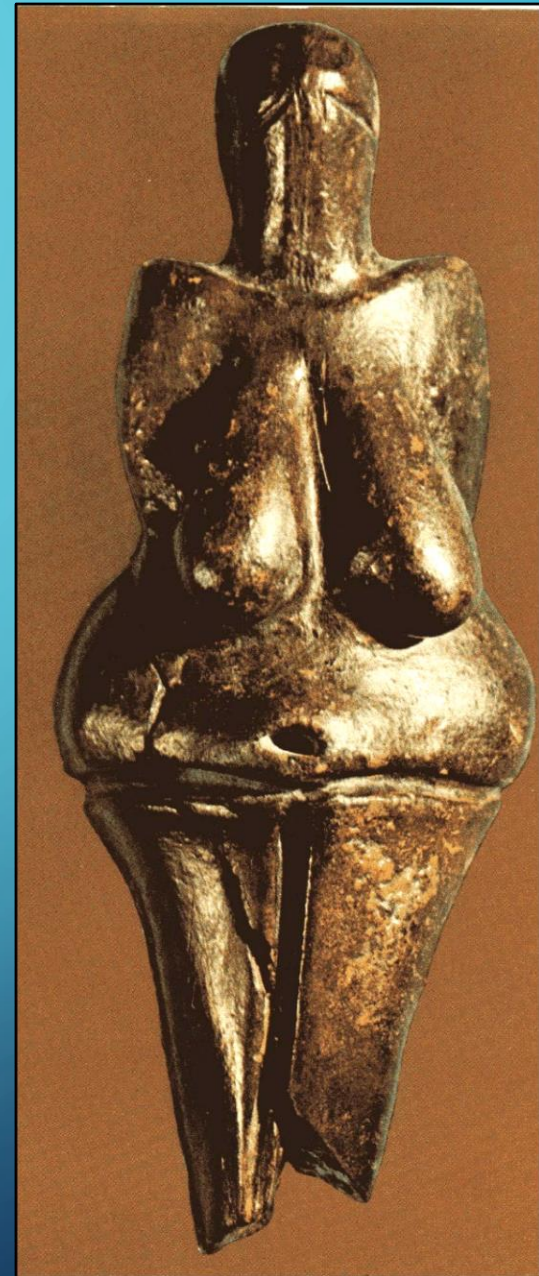
9ª	Ferros Fundidos; Tipos e propriedades; Ferros Fundidos ligados.	07 a 11/06
10ª	Trabalho a quente e a frio; Recristalização; Conformação de Metais, Metalografia quantitativa <b>2ª lista de exercícios</b>	14 a 18/06
11ª	Diagrama TTT (CCT / IT) construção e uso; Influência de elementos de liga; Meios de resfriamento	21 a 25/06
12ª	Temperabilidade; Ensaio Jominy; Curva em U; Diâmetro crítico; Curvas de correlacionamento.	28/06 a 02/07
13ª	Têmpera e revenido <b>3ª lista de exercícios</b>	05 a 09/07
14ª	Aços especiais; Corrosão e proteção contra corrosão.	12 a 16/07
15ª	Tratamentos termoquímicos; Tipos de desgaste	19 a 22/07
16ª	Solubilização e precipitação <b>4ª lista de exercícios</b>	26 a 30/07

The background is a blue gradient with white circuit-like lines in the corners. A yellow rectangular box is centered horizontally, containing the text 'INTRODUÇÃO'.

# 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

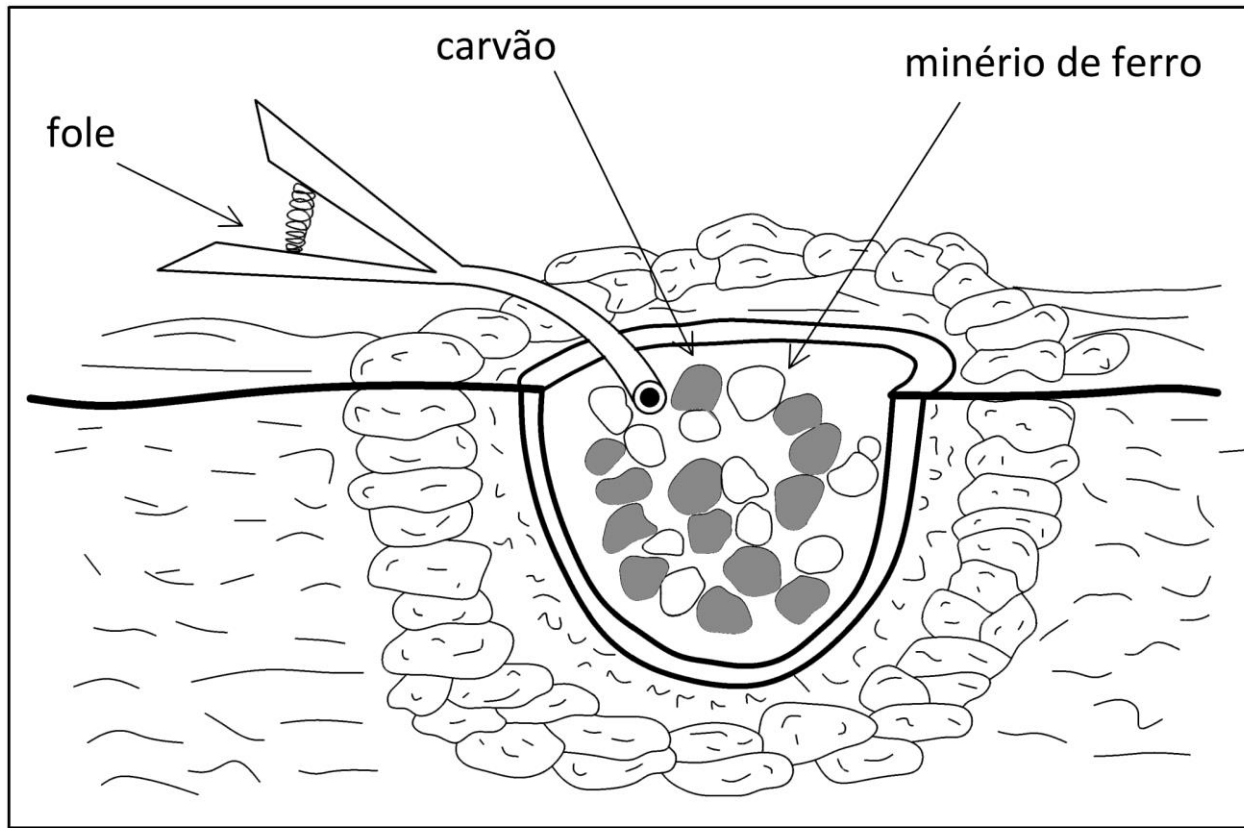
## Idade da Pedra

## 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**

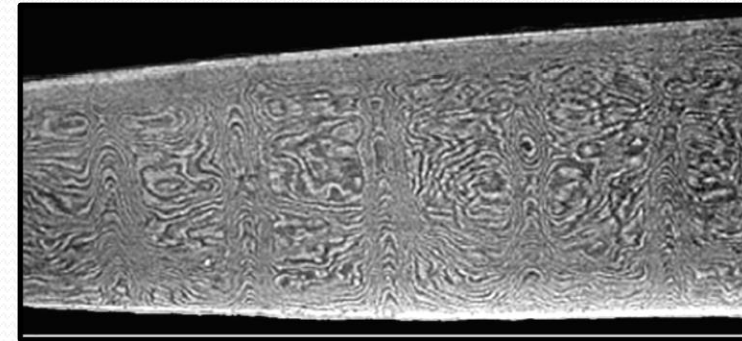


# HISTÓRIA – PRIMEIRO MILÊNIO D.C. – AÇO DE DAMASCO



	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

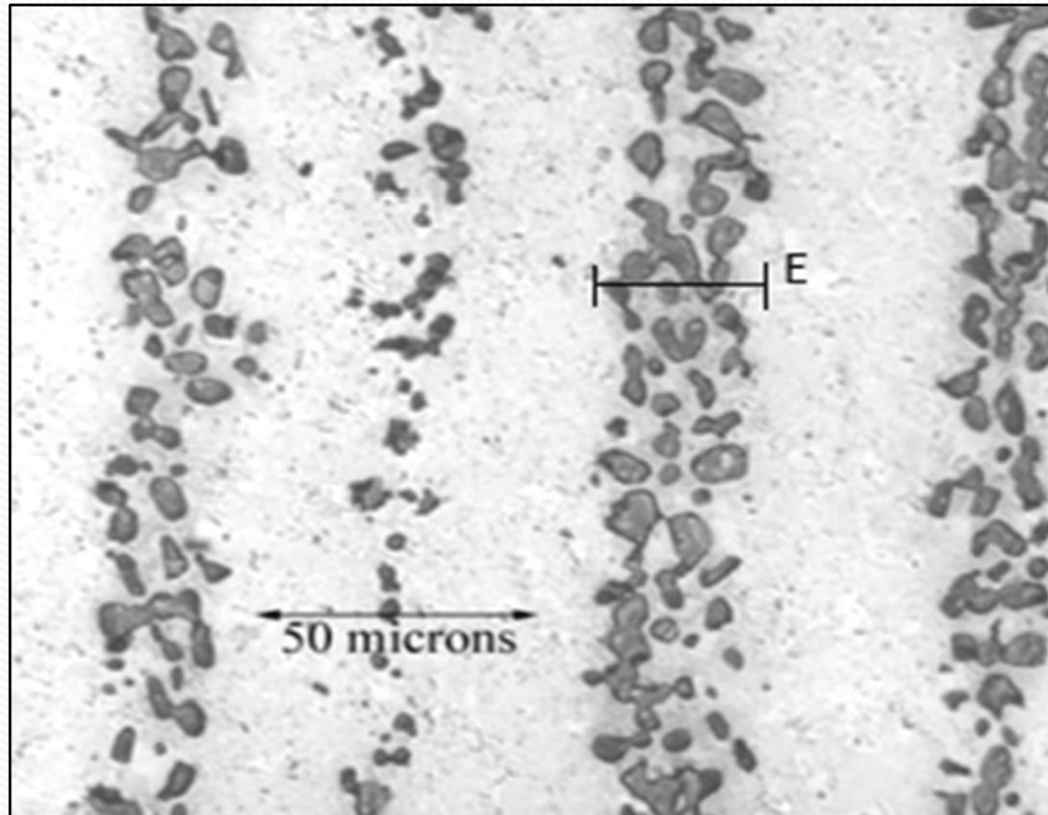
DAMASCO-SÍRIA

Forjamento e tratamentos térmicos cíclicos



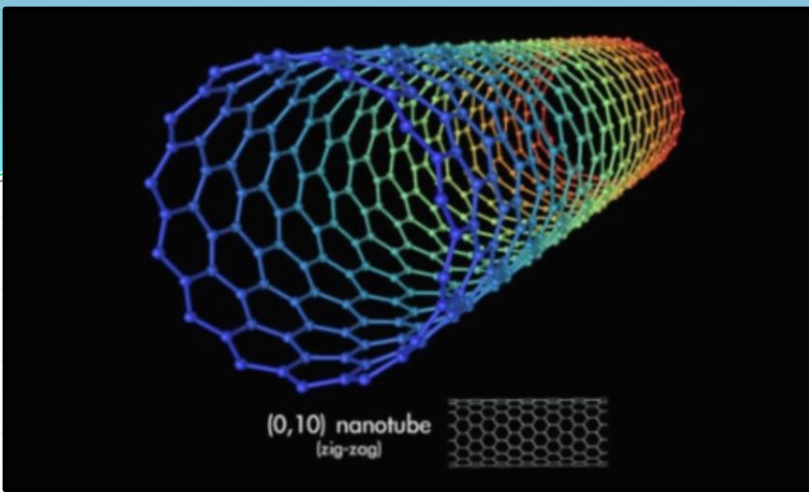
# CONSEQUÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA ECM E MF - ARQUEOMETALURGIA

L o r e n a



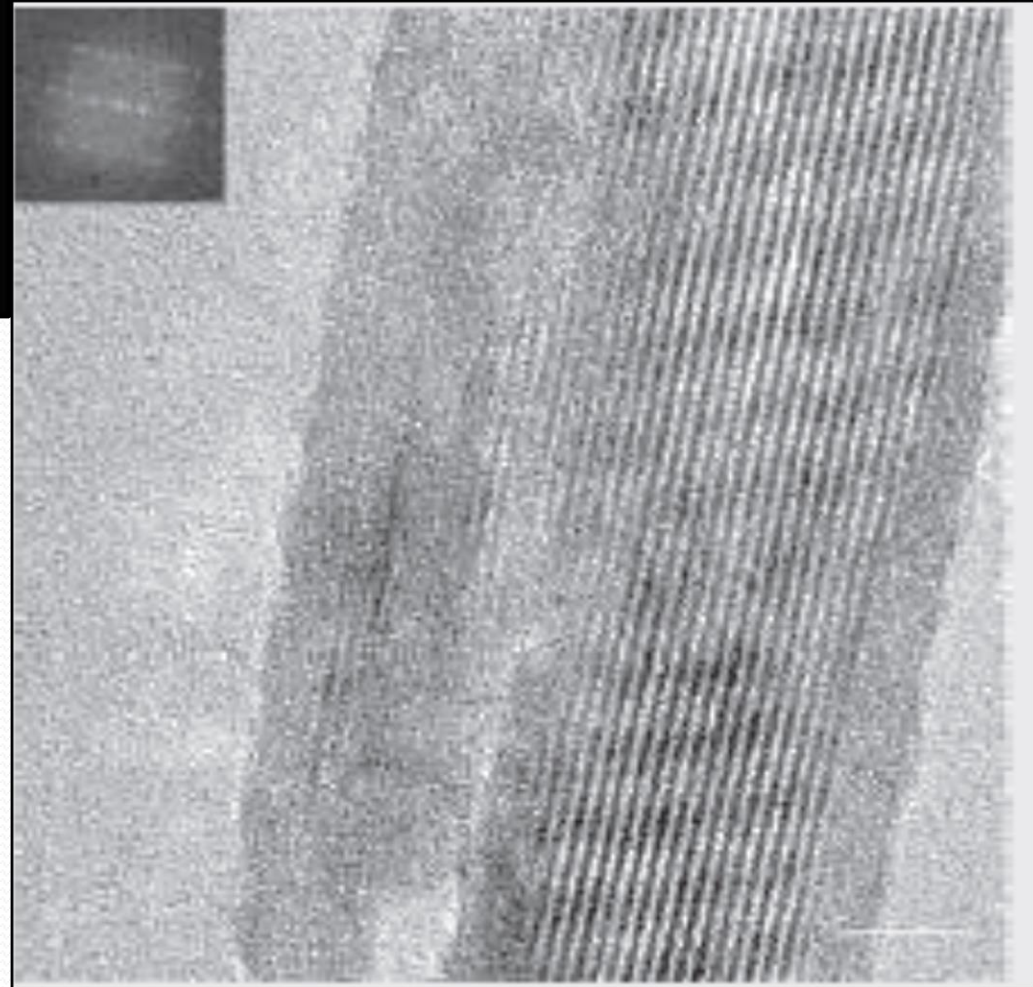
**Figuras 4.** Bandas de partículas de cementita (região escura) dentro de uma matriz ferrítica (região clara da figura).

## 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].

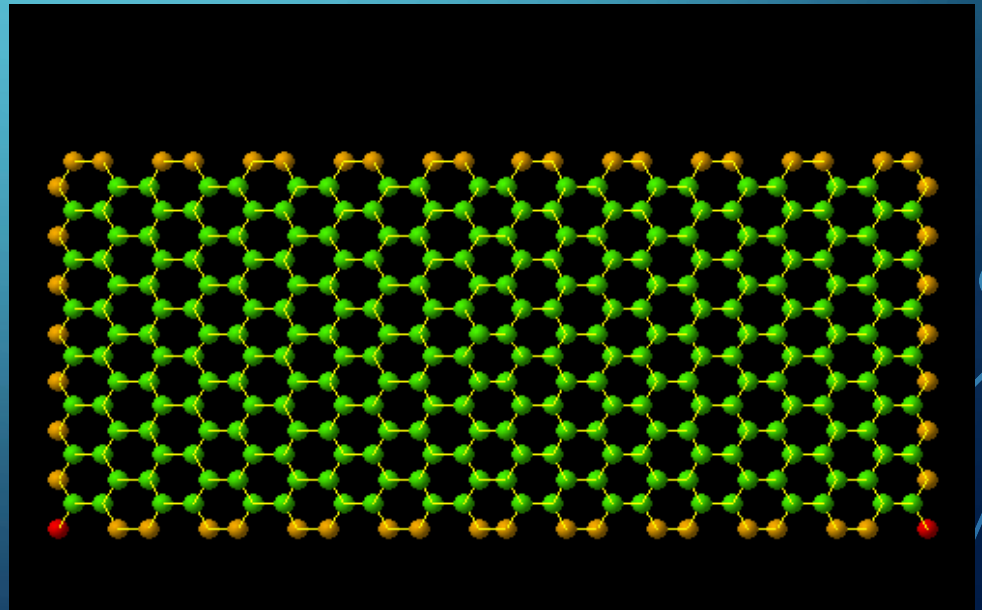
## CIÊNCIA DOS MATERIAIS- BASE PARA A METALURGIA FÍSICA



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

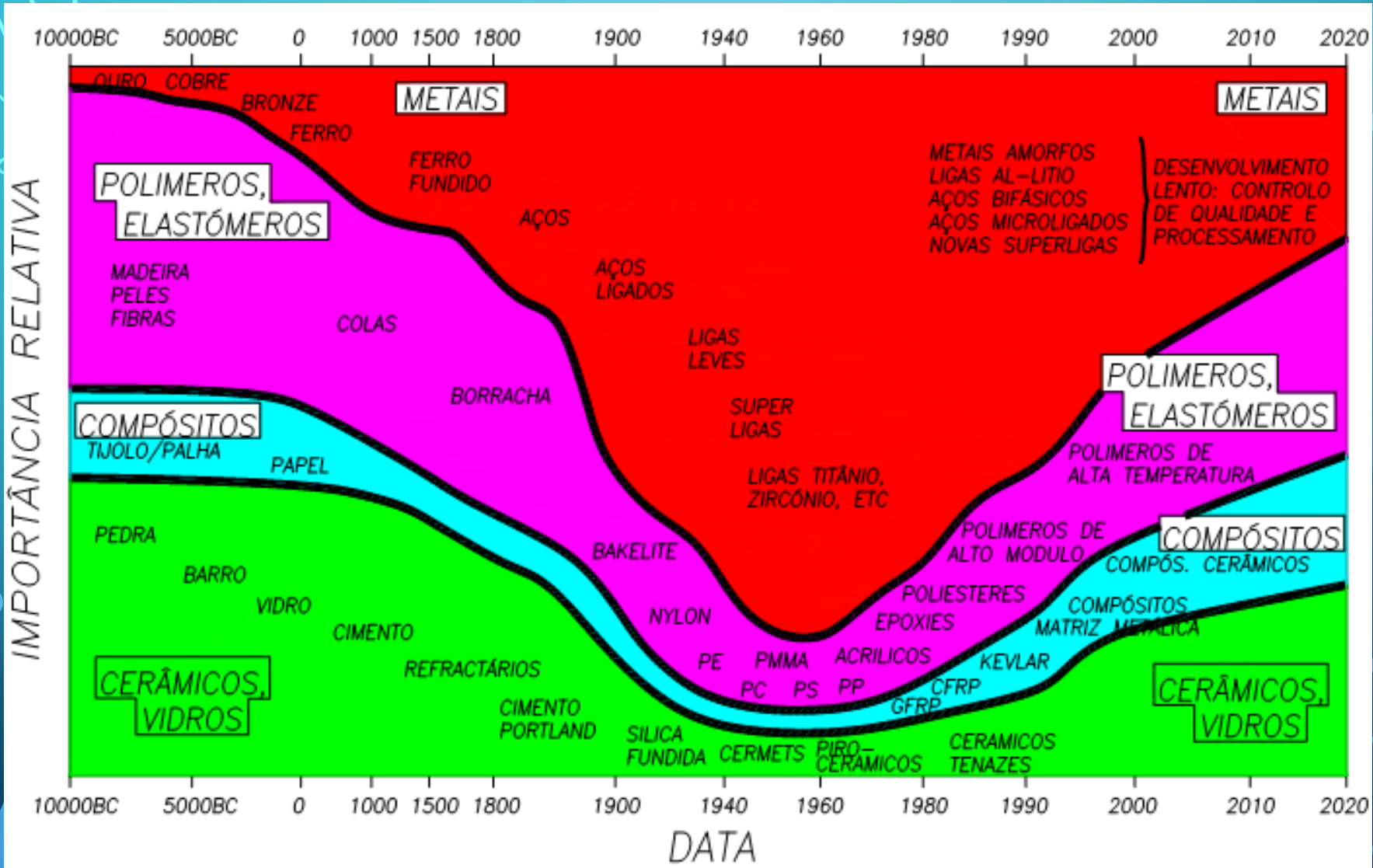
O termo “**polímero**” foi criado em **1832** pelo químico sueco **J. J. Berzelius** (1779-1848) e só veio a ser usado com o significado atual após **1922**. Os primeiros experimentos com polímeros foram realizados com borracha natural. O físico **Michael Faraday** fez uma **análise química** elementar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







# EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS



# ENGENHARIA DE MATERIAIS

**MATERIAL**

**COMPOSIÇÃO  
QUÍMICA**

**+**

**PROCESSAMENTO**

**ESTRUTURA**

**P**

**R**

**O**

**P**

**R**

**I**

**E**

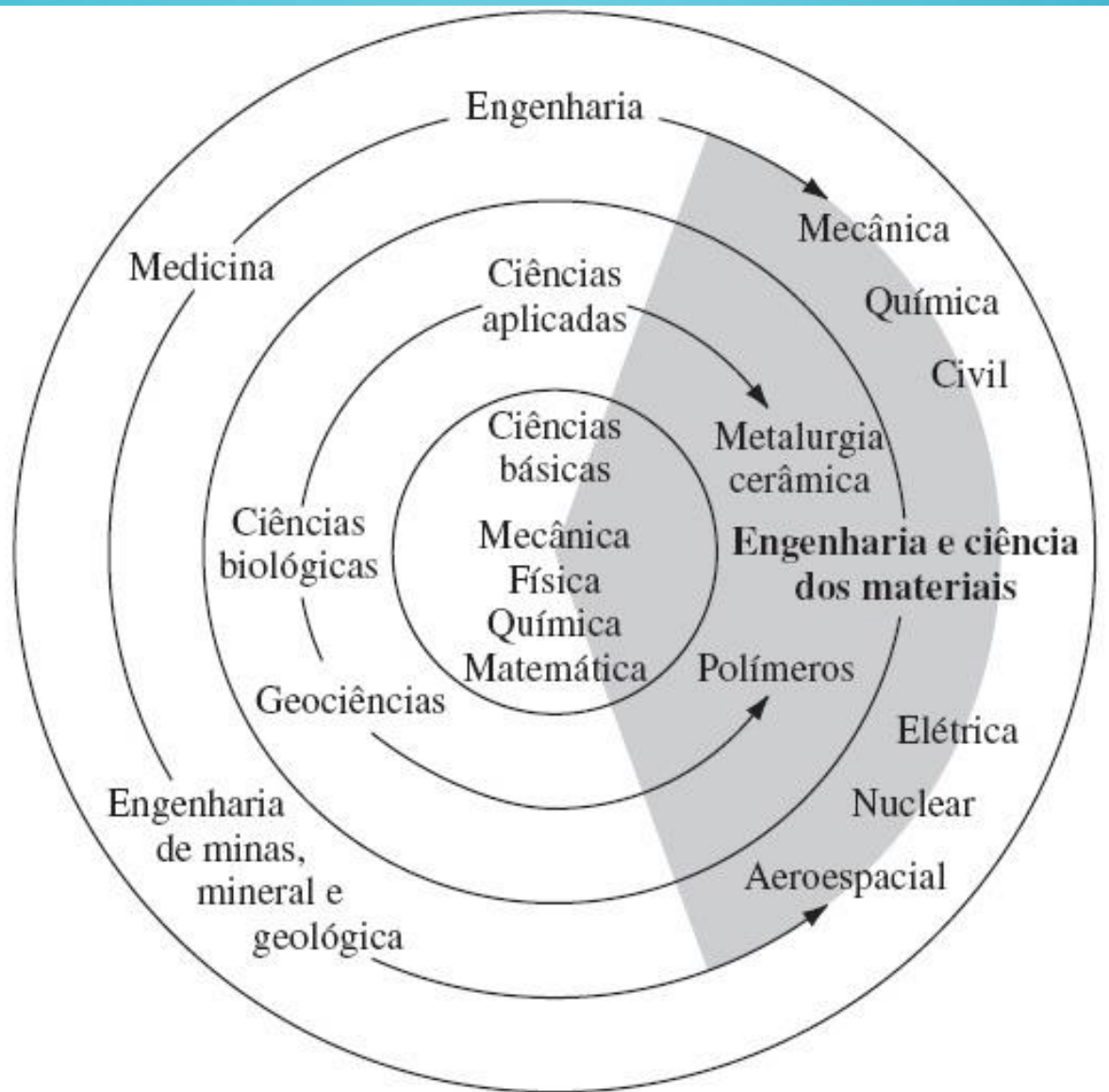
**D**

**A**

**D**

**E**

# ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS

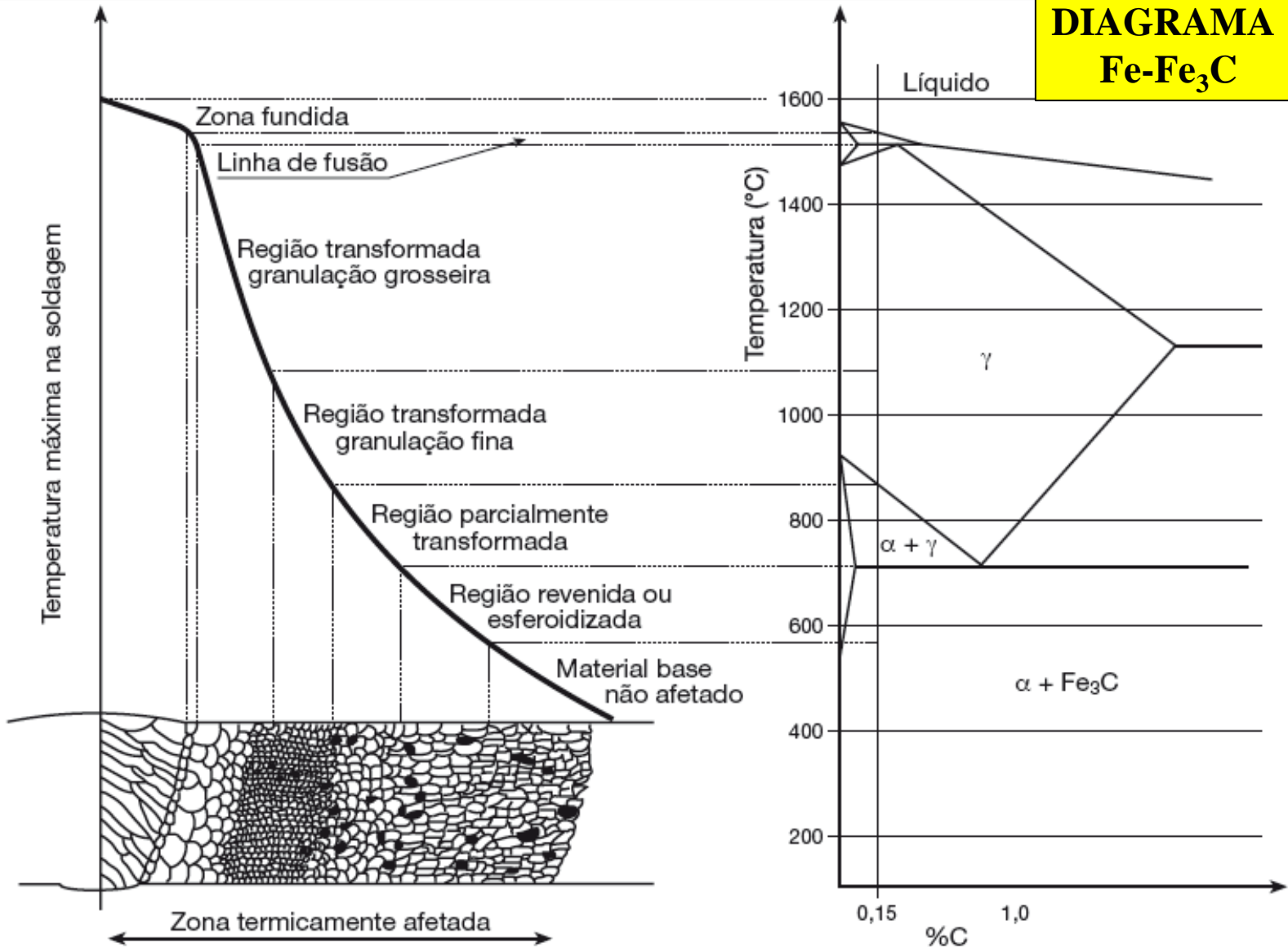


The background is a blue gradient with white circuit-like lines in the corners. The lines are composed of straight segments and small circles, resembling a printed circuit board layout. They are located in the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners.

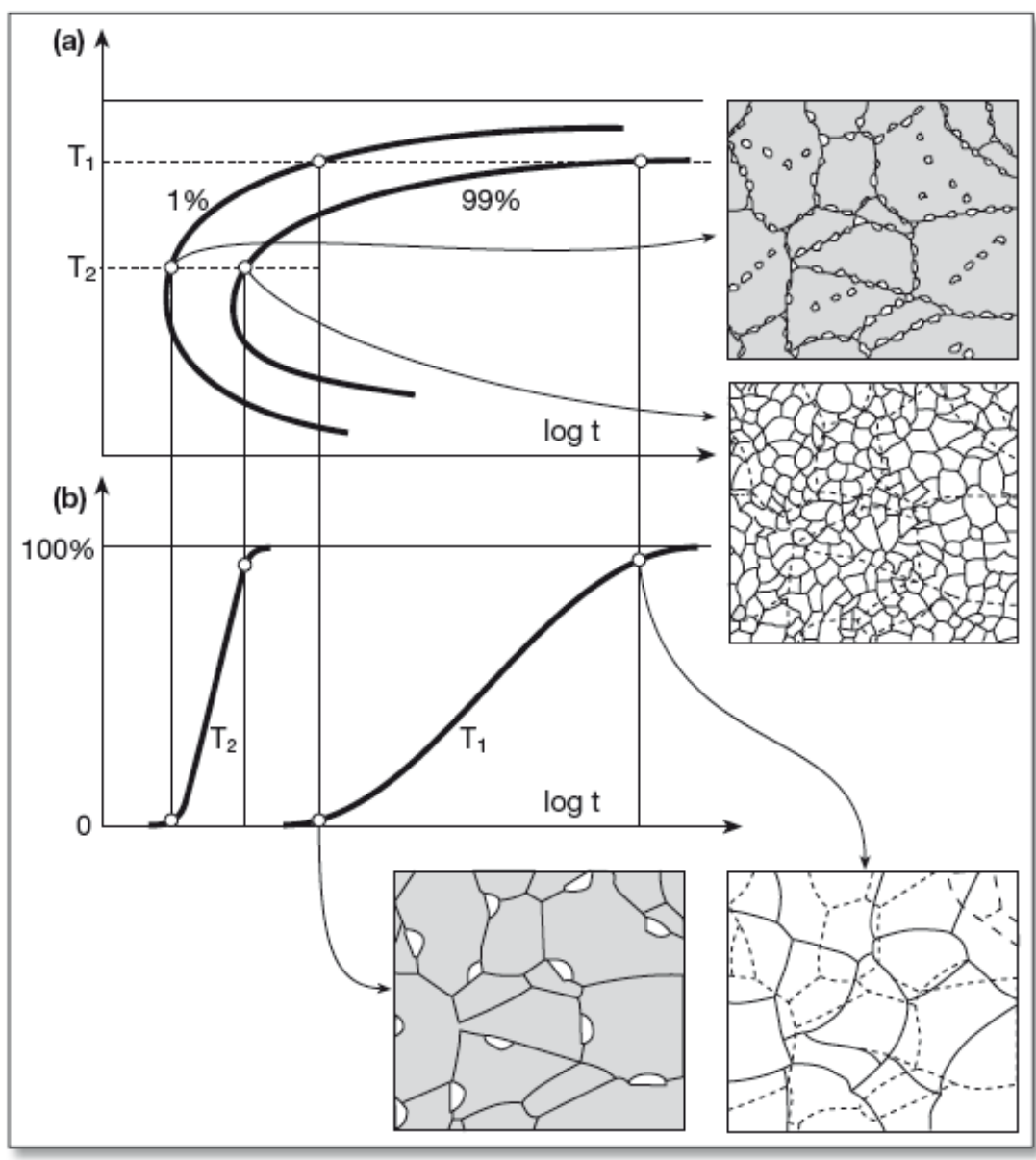
# **APLICAÇÃO DA ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS**

# 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.

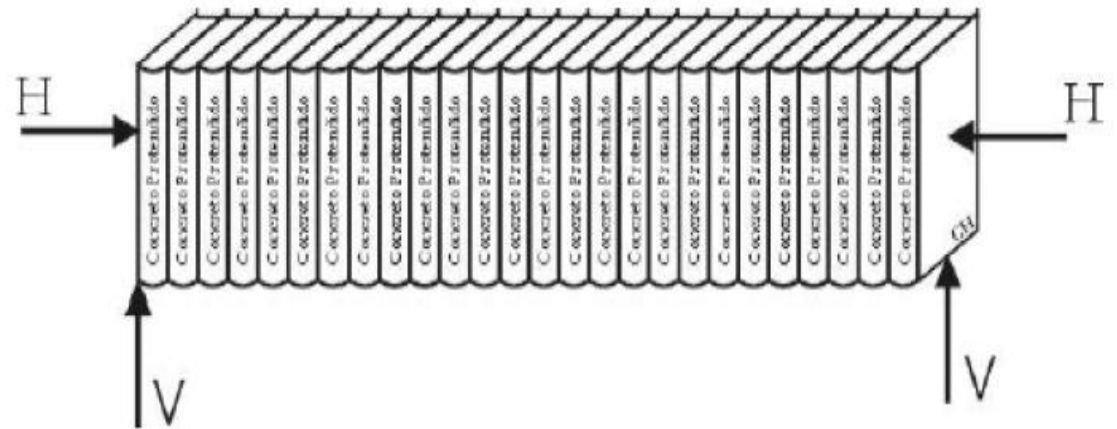


Figura 2 – Fundamento da protensão aplicado a uma pilha de livros.

## Pontes

Estaiadas



Arcos

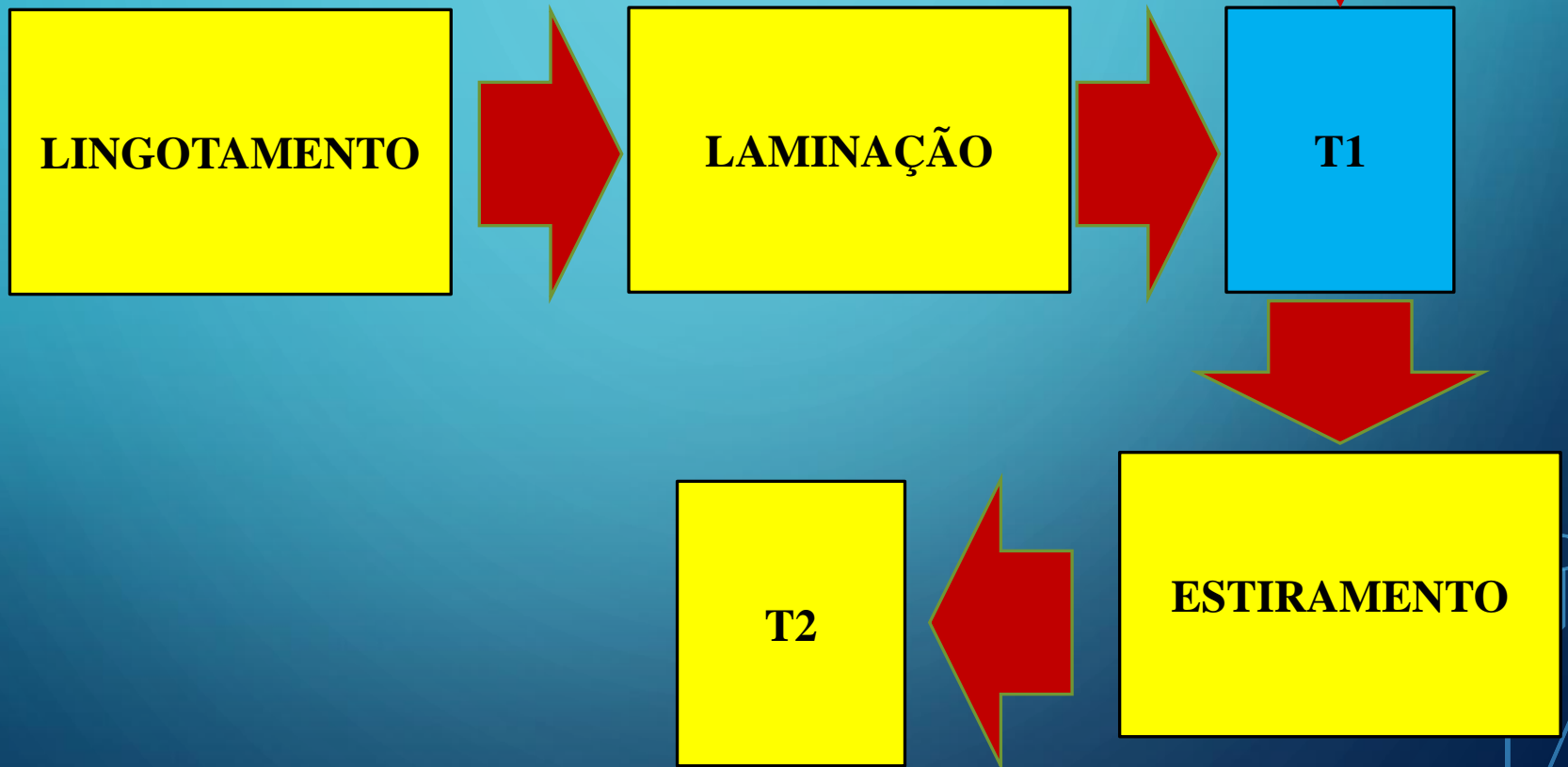




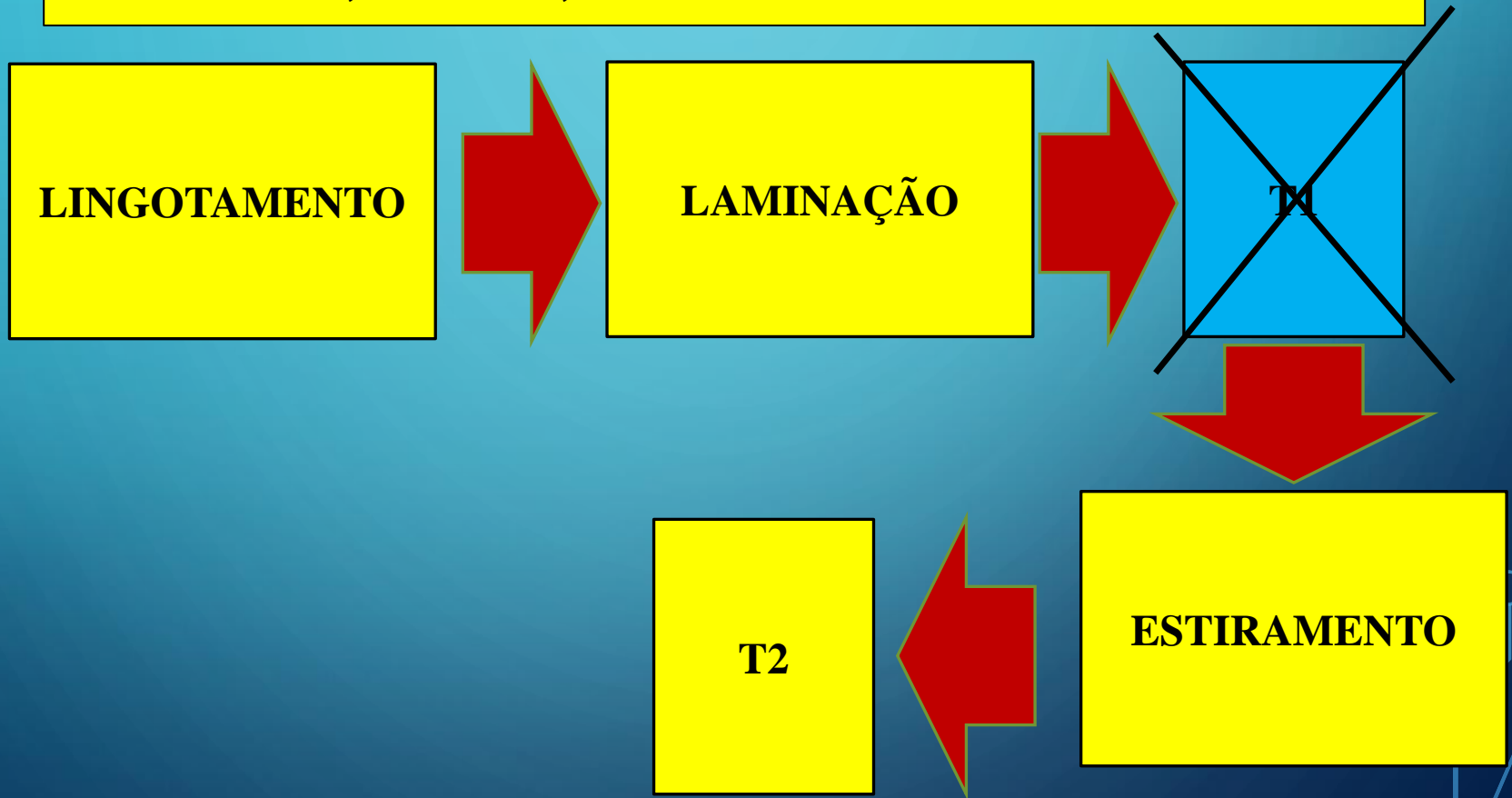


# COMO ERA O PROCESSO?

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

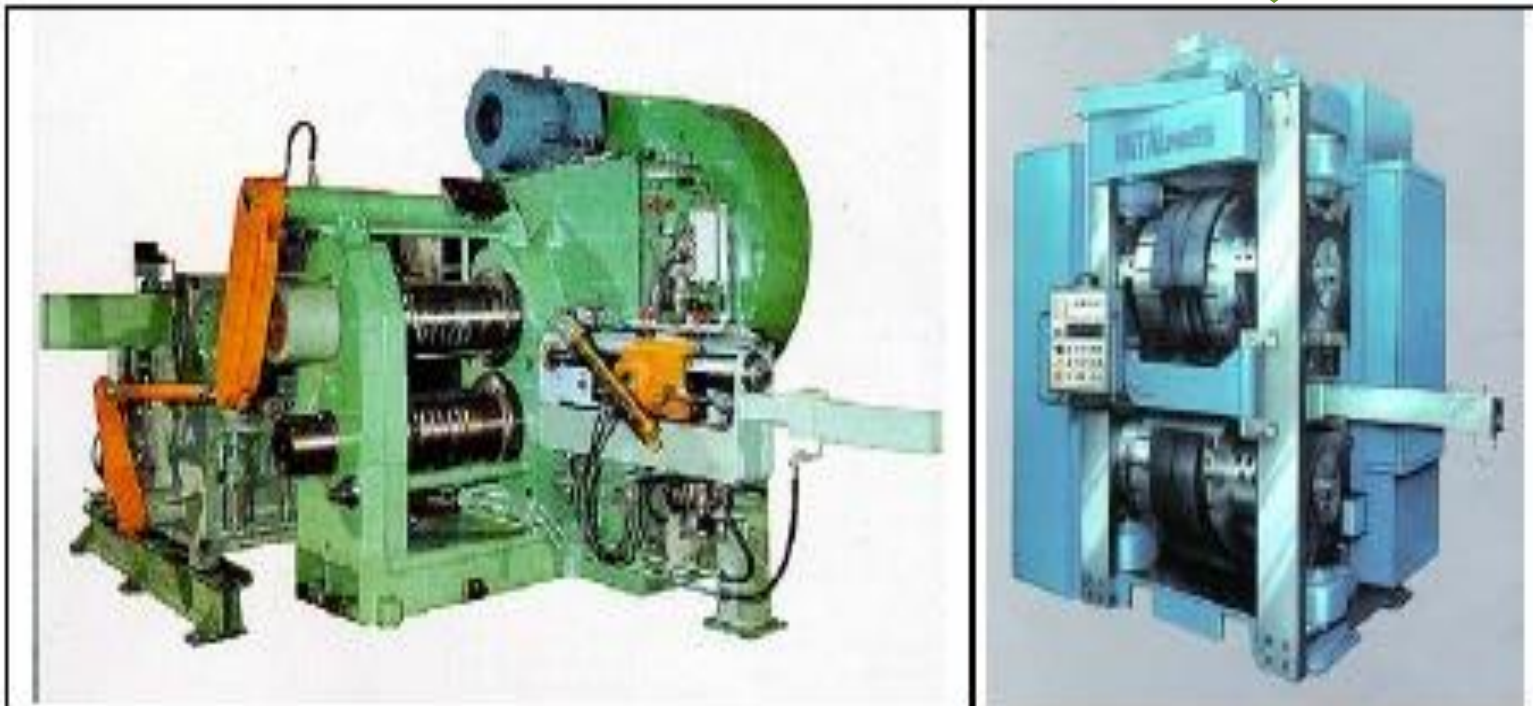
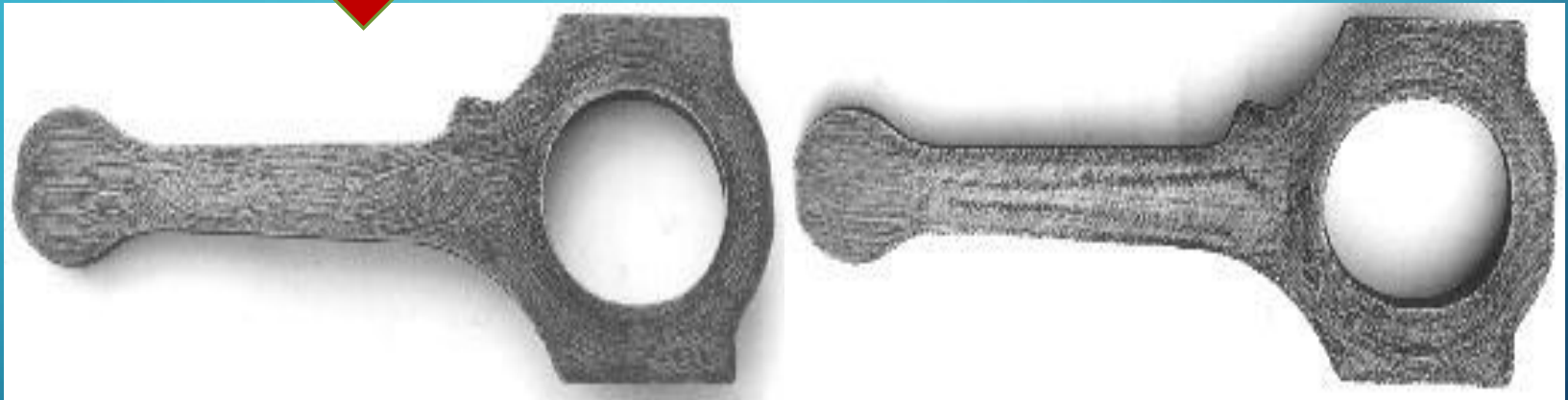
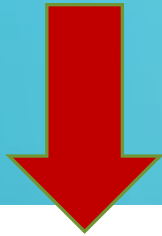
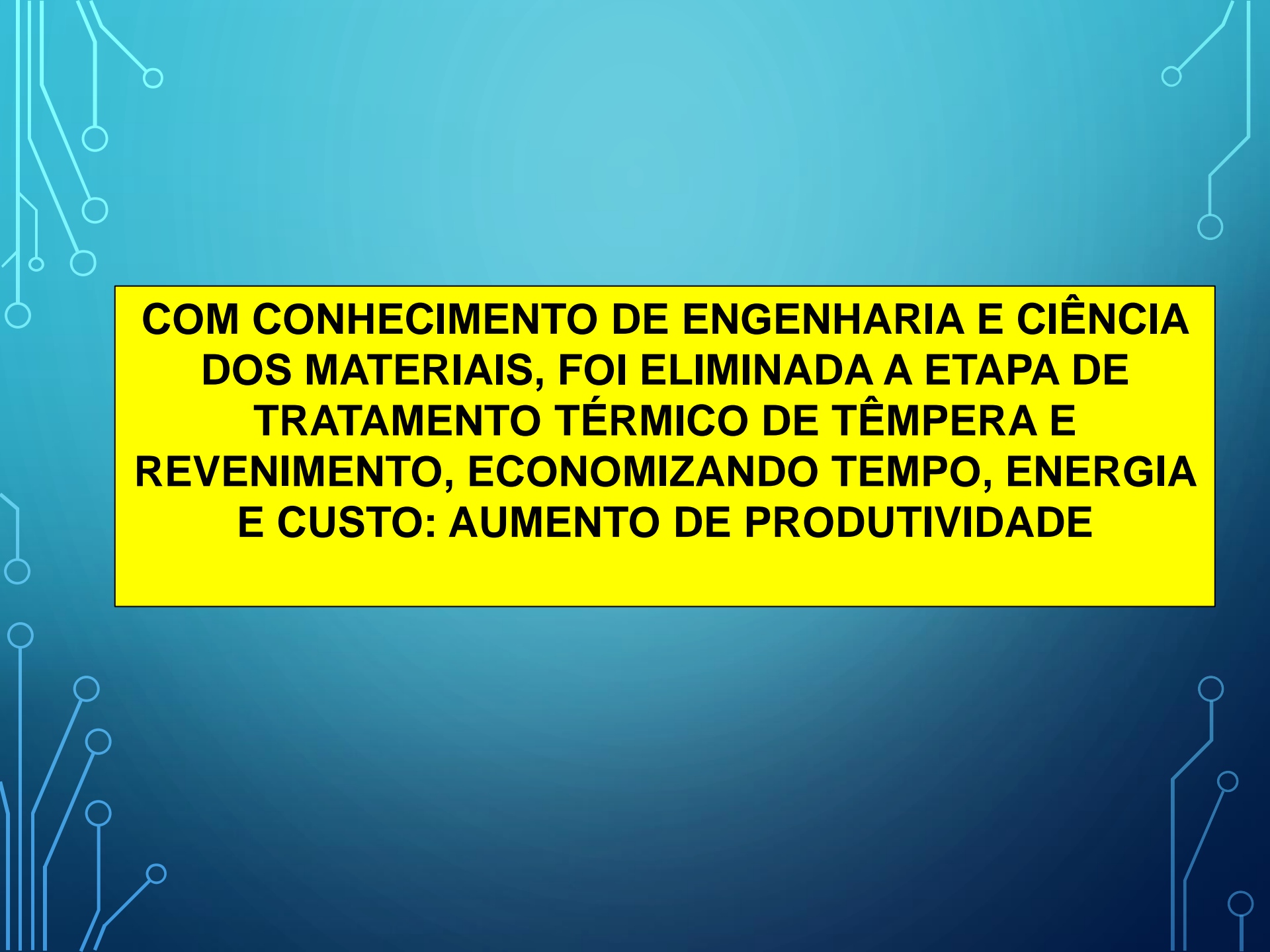


Figura 2 – Laminadoras Convencional e Transversal

## 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.**

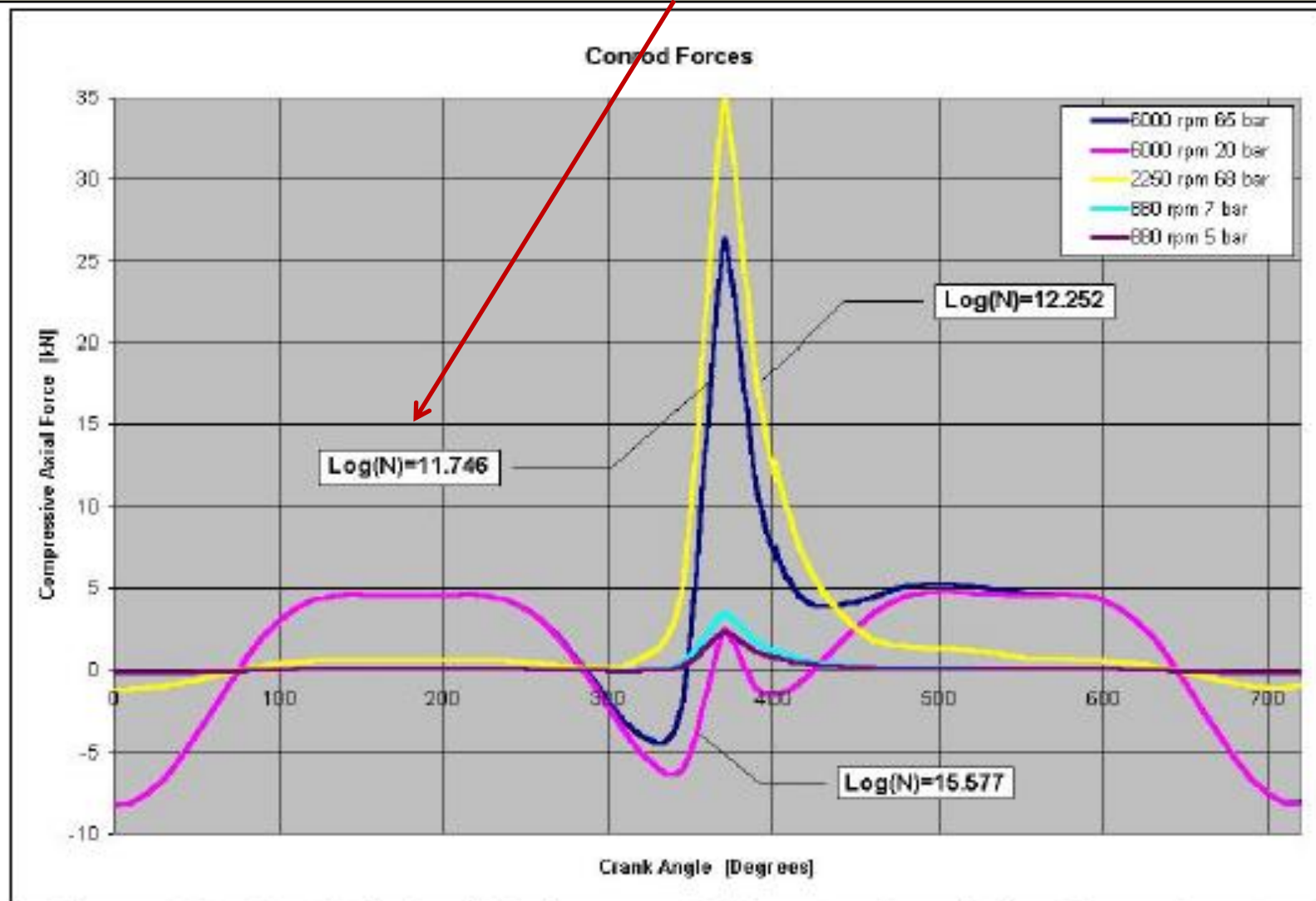


Figura 10 – Resistência à Fadiga para Diferentes Condições Operacionais

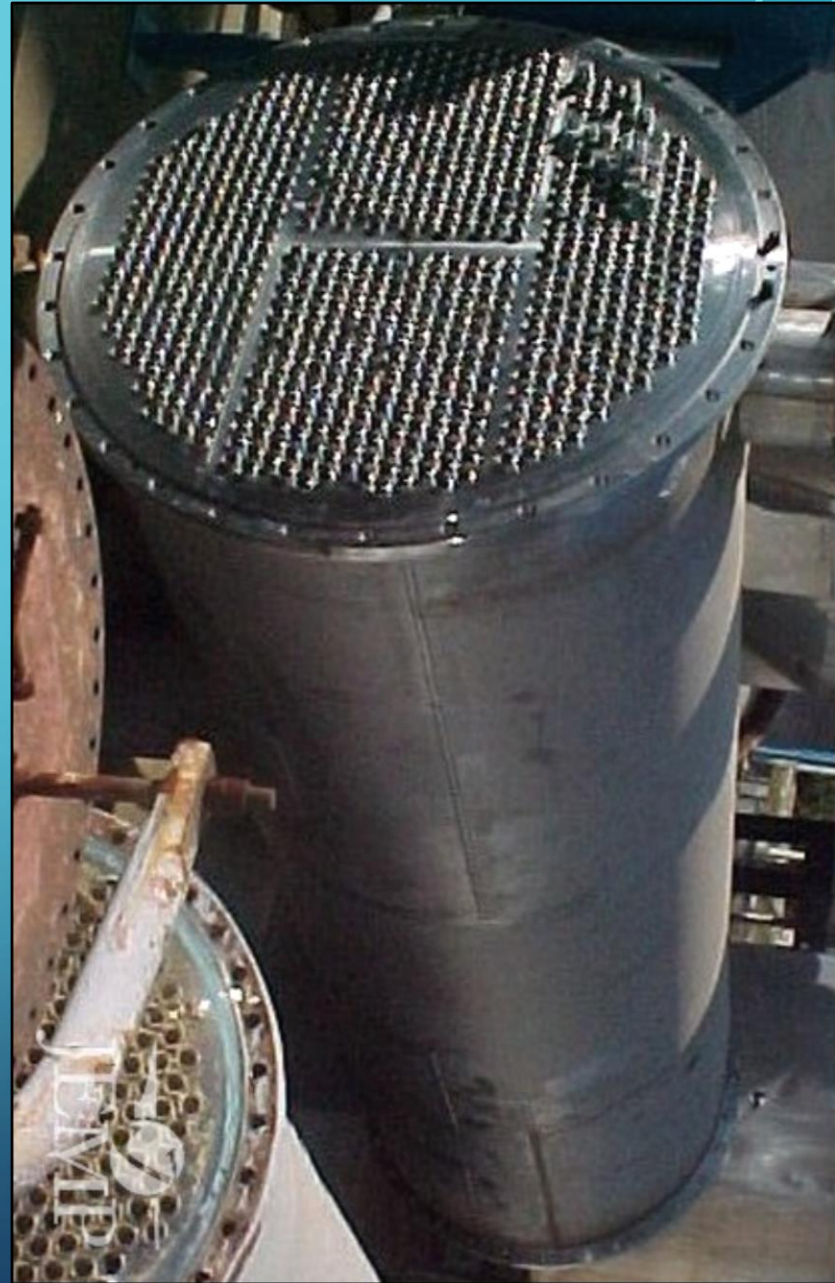




**DEPOIS DESTE DESENVOLVIMENTO, A FORD  
PASSOU A ADOTAR A BIELA DO MOTOR ZETEC-  
ROCAM FABRICADA COM O AÇO MICROLIGADO.**

# **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**



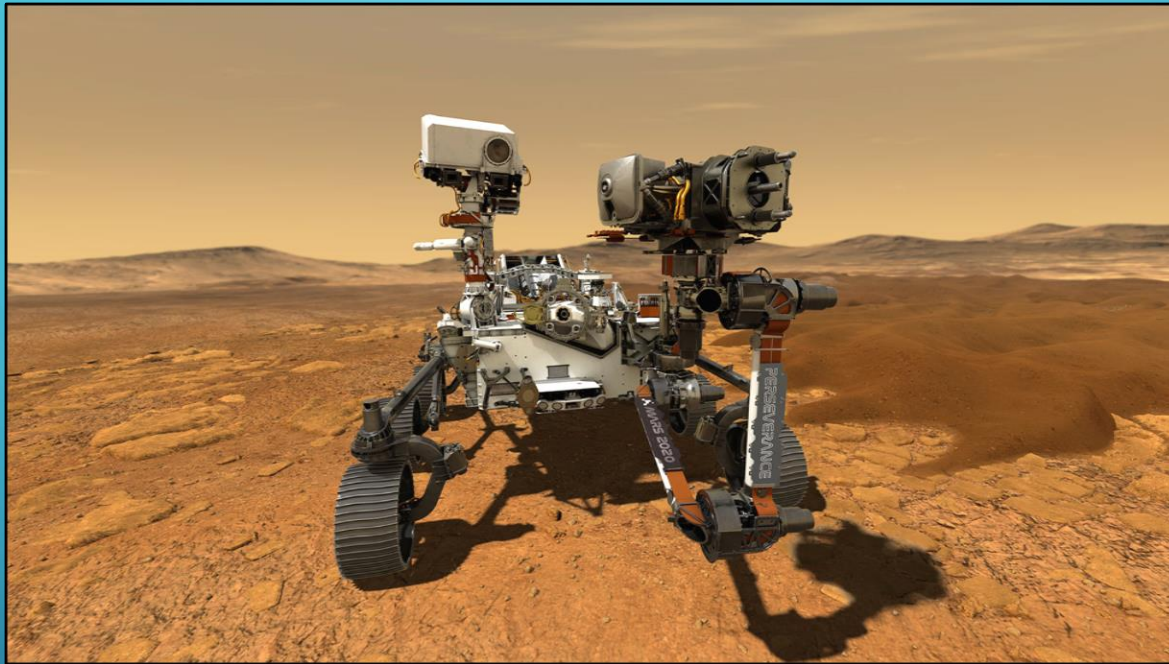
**ESTRUTURA-PROPRIEDADES**



**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 board traces in the corners. The traces consist of lines and circles, resembling a PCB layout. The central text is contained within a yellow rectangular box.

**FIM**