



PME 3430

Materials 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



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	Ligas contra corrosão (Aço Inox)
08	03/05	Aula de exercícios
09	10/05	PROVA – P1 e entrega de TRABALHOS – T1
10	17/05	Processamento de Polímeros (polimerização, vulcanização, temperatura vítrea)
11	24/05	Processamento de Cerâmicas (fundição, sinterização, tratamento térmico)
12	31/05	Cerâmicas avançadas (piezos e termo-elétricos)
13	07/06	Recobrimentos cerâmicos (carbonetos, nitretos, óxidos)
14	14/06	Compósitos metal/polímero/cerâmicos (fibras de carbono, aramida)
15	21/06	Aula de exercícios
16	28/06	Entrega de TRABALHOS – T2
17	05/07	PROVA – P2
18	07/07	PROVA Substitutiva



Trabalho

- ❖ Trabalho em duas partes:
 - ❖ T1 entrega em 10 de maio de 2017
 - ❖ T2 entrega em 28 de junho de 2017

- ❖ Primeira parte: pesquisa de uma peça/sistema
 - ❖ A seleção de um componente é semi-aberta (depende do aval do professor)
 - ❖ Descrição funcional desse componente (Por que ele é feito com os materiais escolhidos? Quais os requisitos desse componente? Quais os carregamentos? Quais os processos de fabricação?)

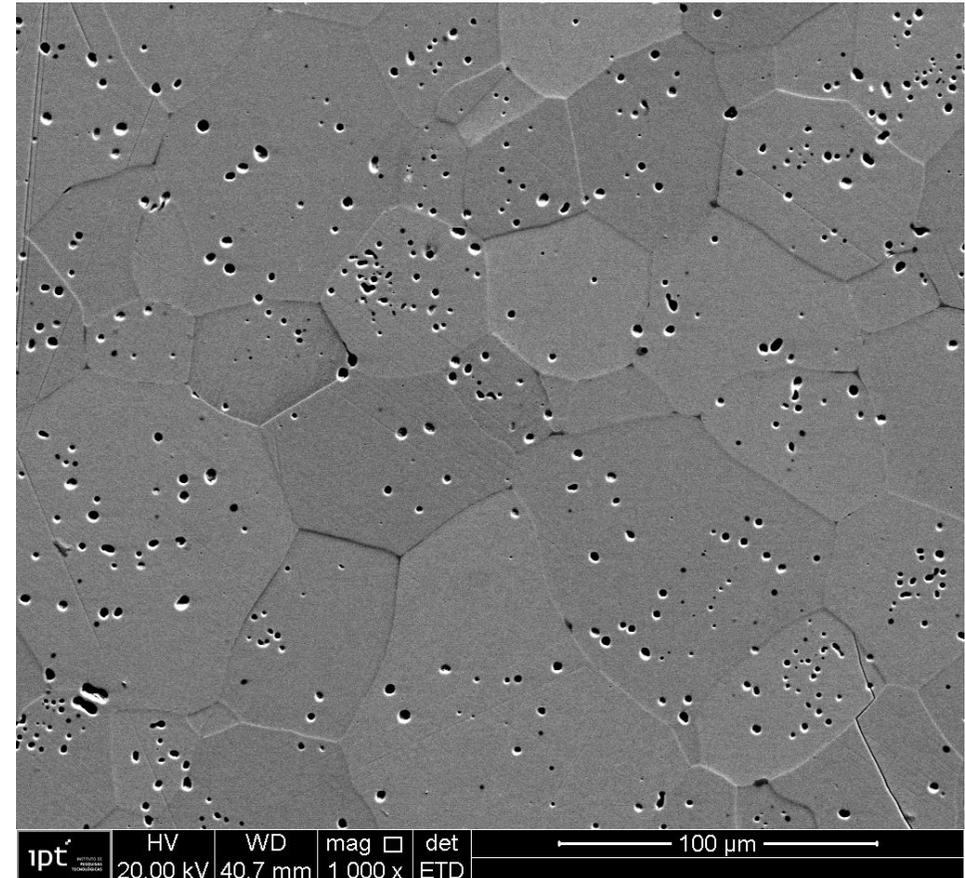
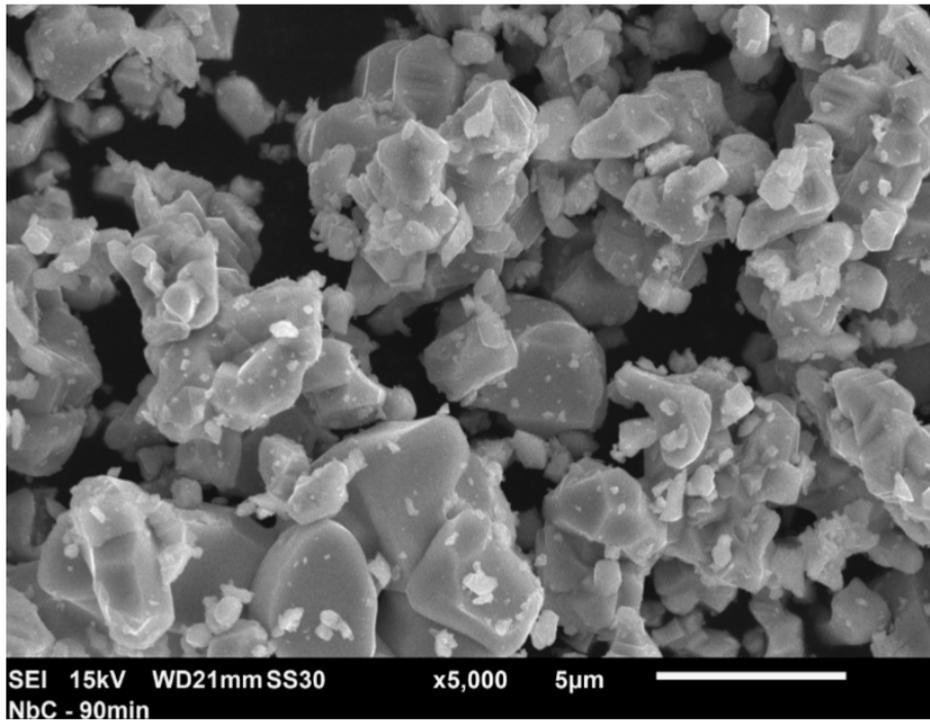
- ❖ Segunda parte: troca do material da peça escolhida
 - ❖ Indicar a rota de fabricação da peça escolhida utilizando outro material (metálico, cerâmico, polímero, compósito)
 - ❖ Comparar as duas rotas e indicar as diferenças
 - ❖ Indicar os motivos específicos da escolha do segundo material e sua rota de fabricação



LFS

Microestruturas

❖ Carboneto de Nióbio (NbC)





Processamento de cerâmicas

❖ Fusão



❖ Secagem + Queima

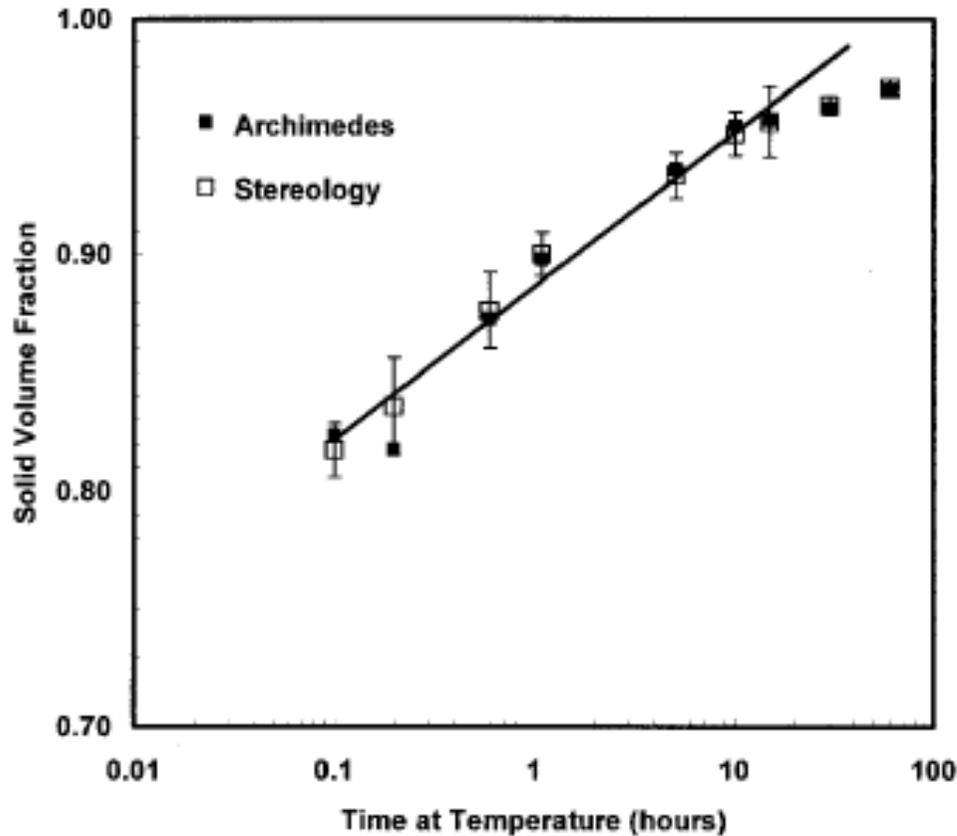
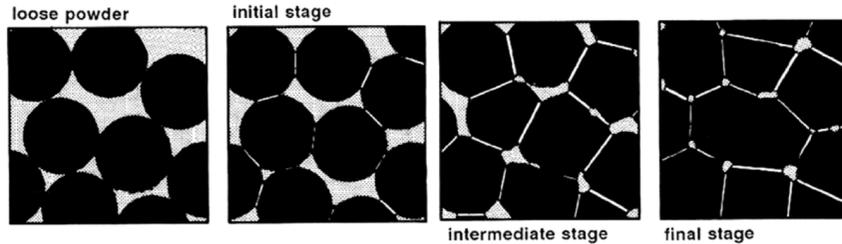


❖ Metalurgia do pó

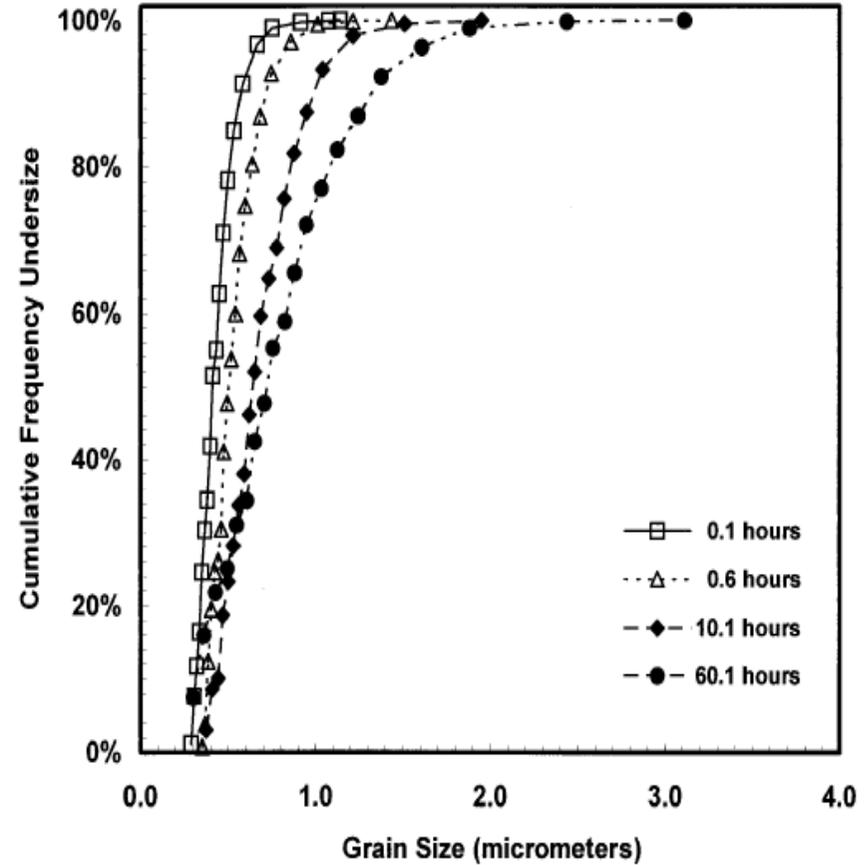
❖ Compactação a frio

❖ Compactação a quente

Processamento de cerâmicas



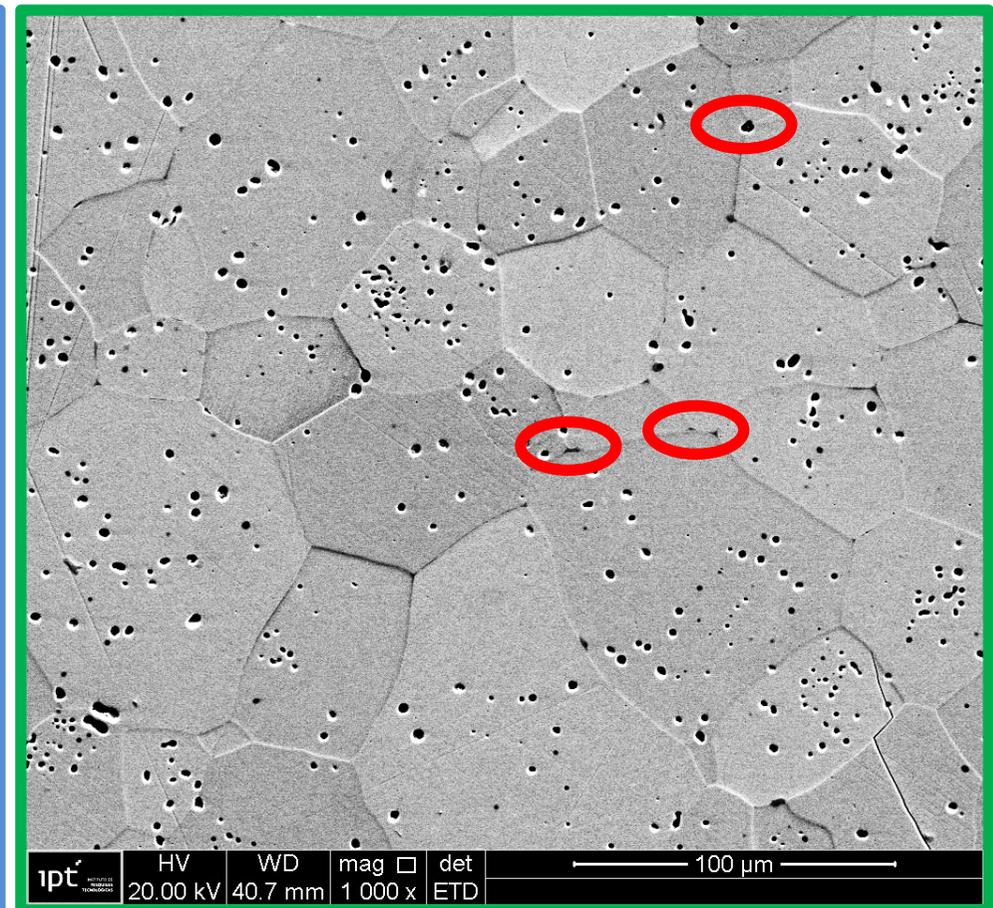
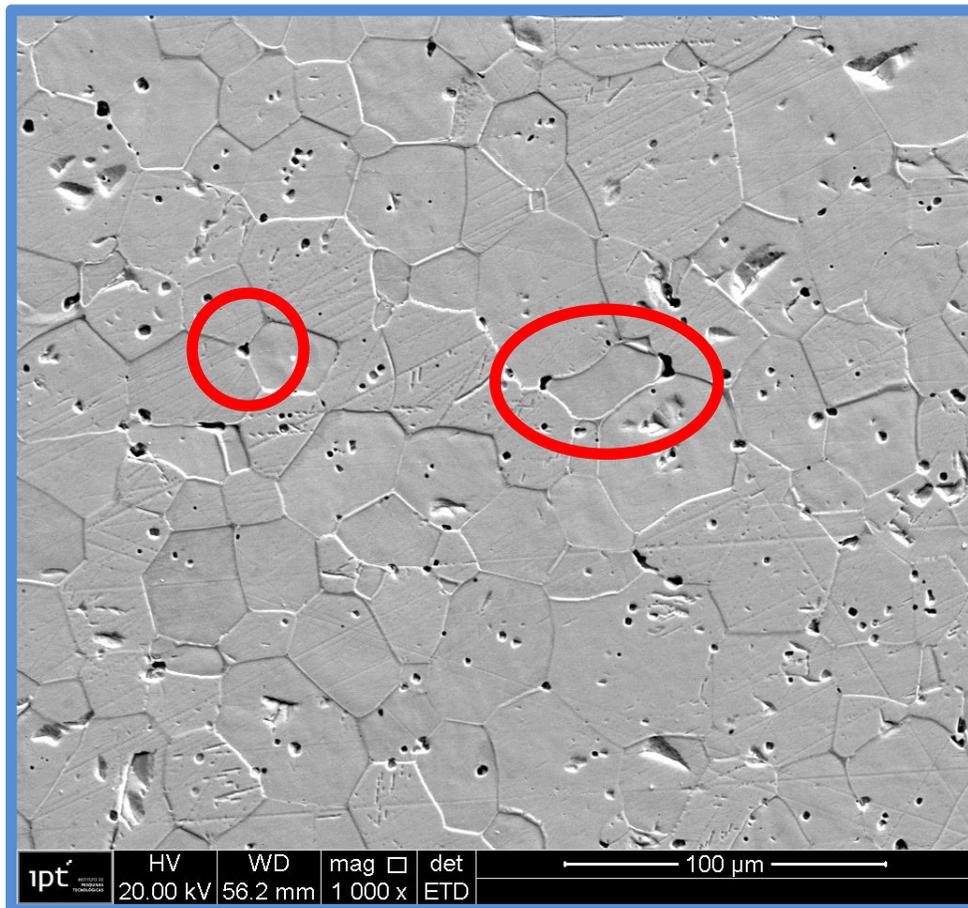
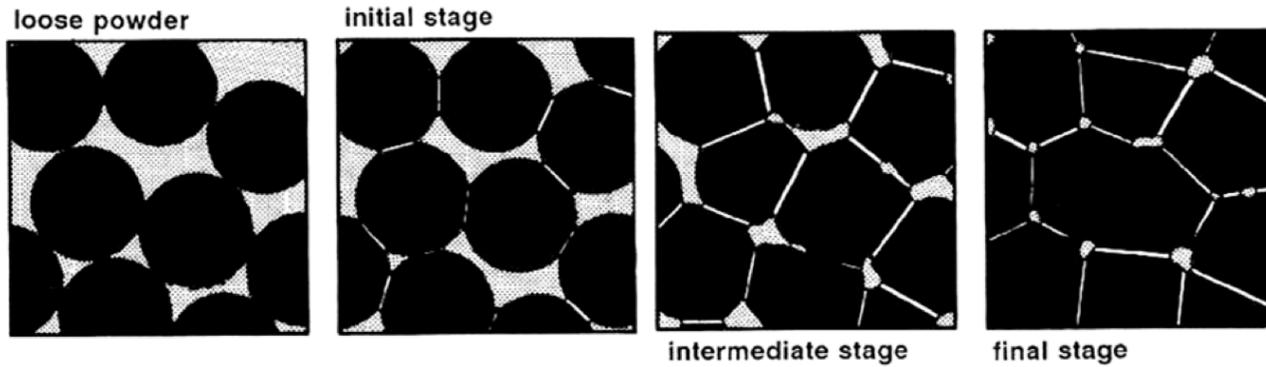
Efeito do tempo de sinterização na densidade



Efeito do tempo no tamanho de grão.



Microestrutura de cerâmicas





Comportamento de falha

❖ Tenacidade à fratura

❖ Inglis

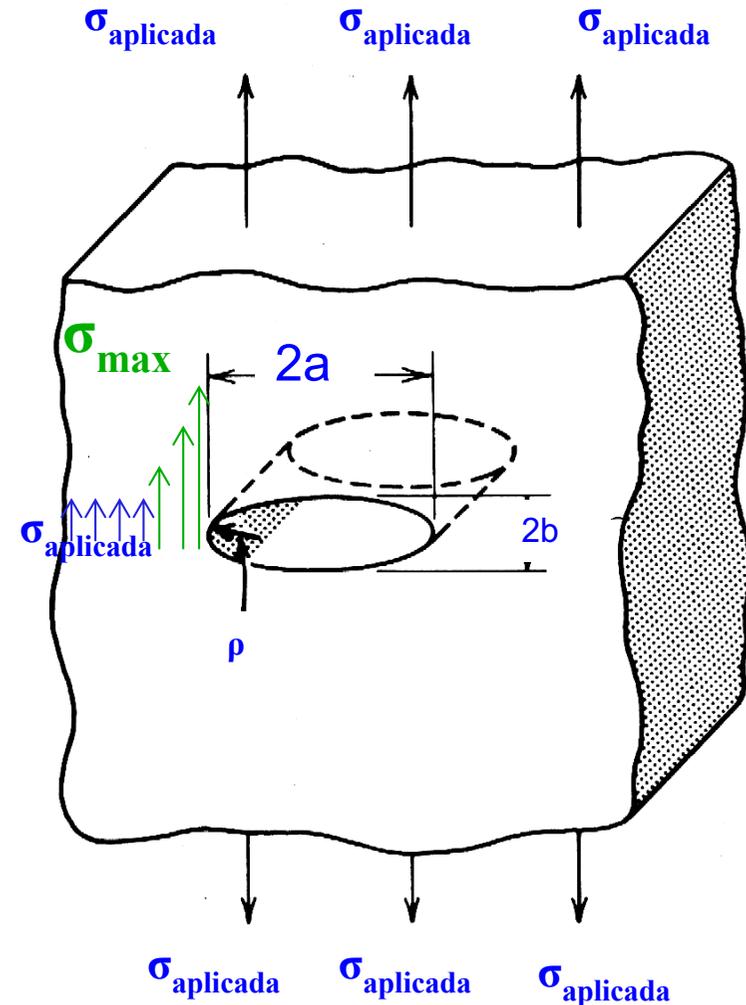
$$\sigma_{max} = \sigma_{aplicada} \left(1 + 2 \sqrt{\frac{a}{\rho}} \right)$$

❖ Griffith

$$\sigma_{fratura} = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}}$$

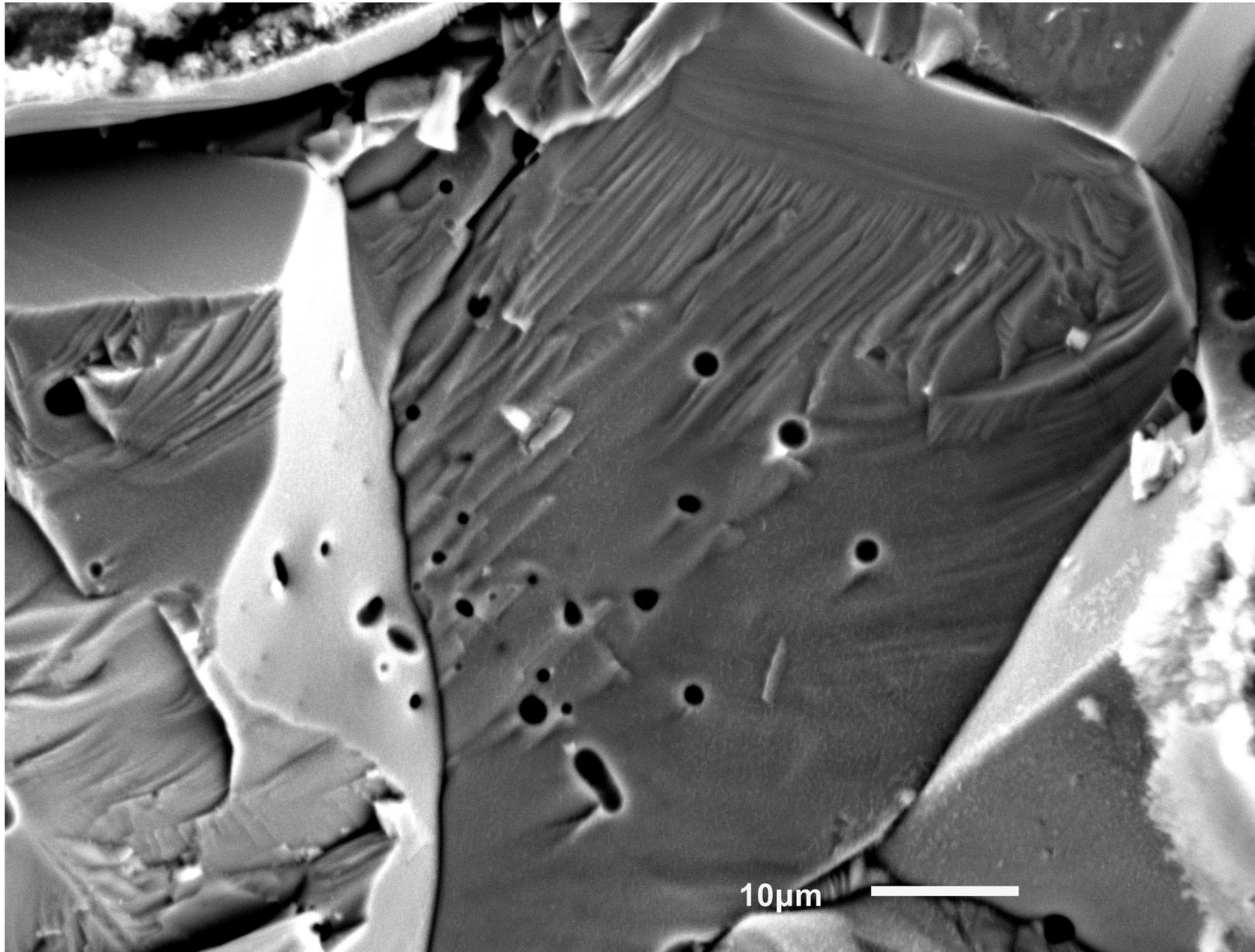
❖ Irwing

$$K_c = \sigma_c \sqrt{\pi a}$$



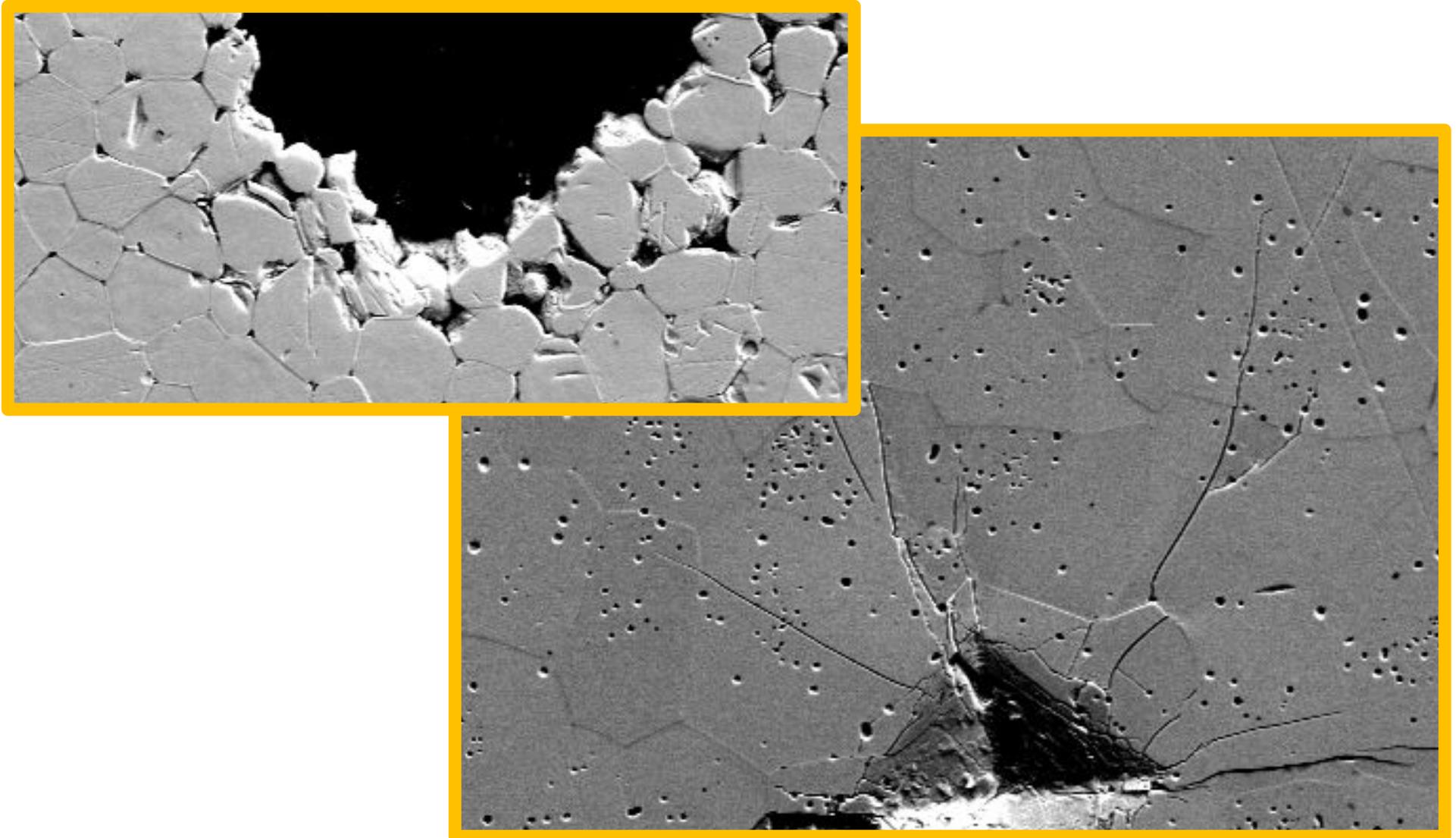


Comportamento de falha





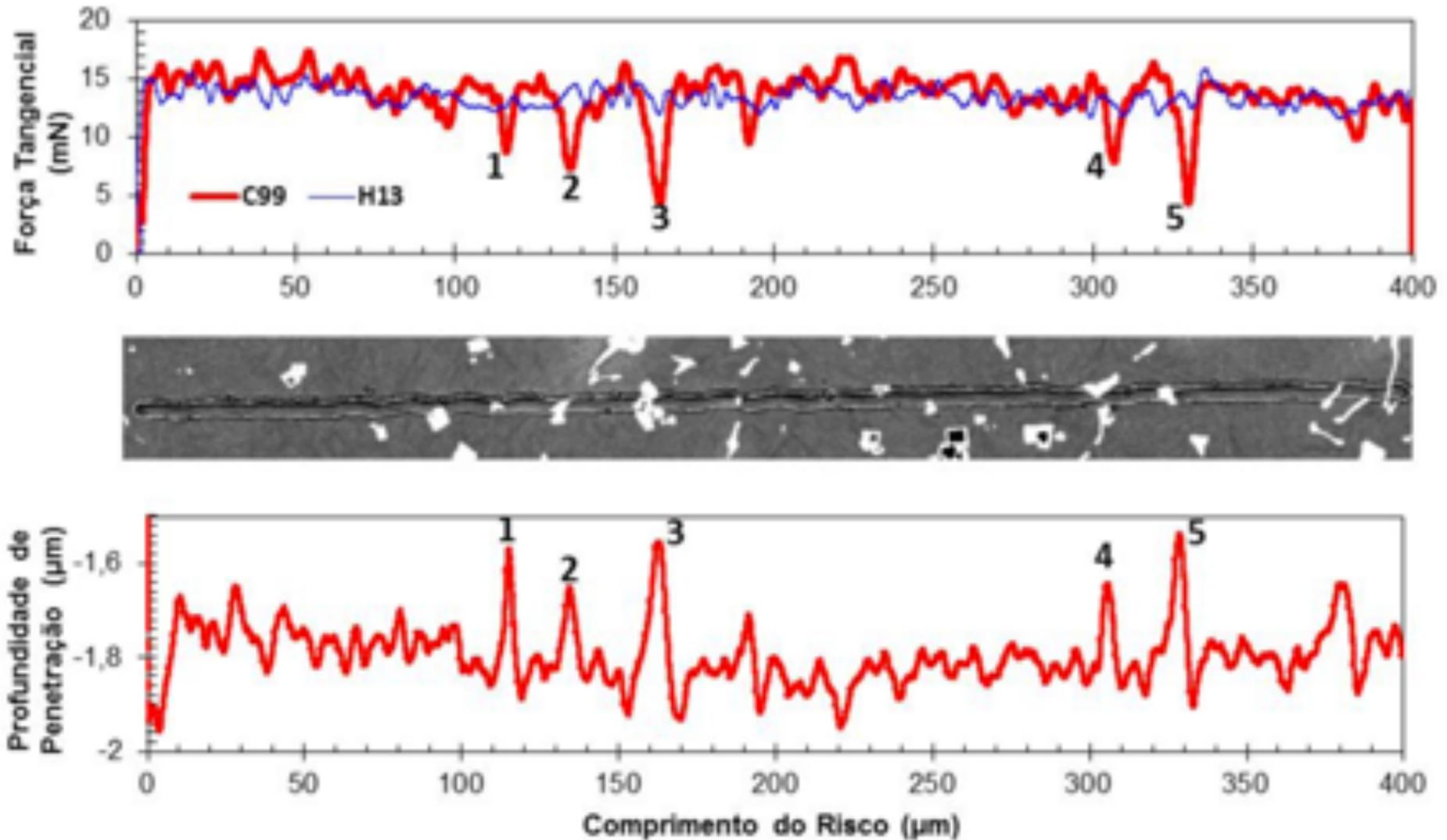
Propriedades mecânicas





Cerâmicas avançadas

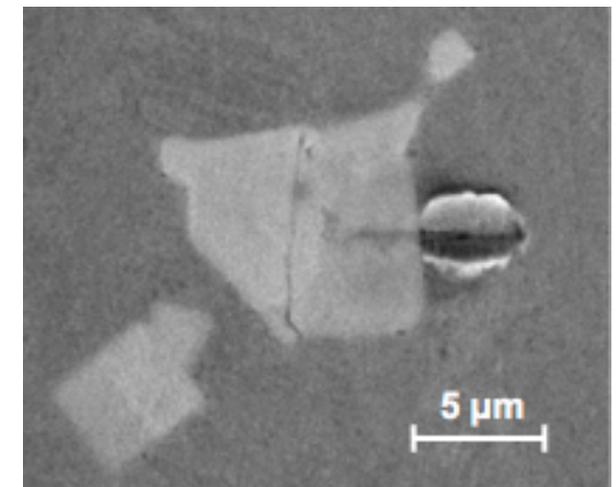
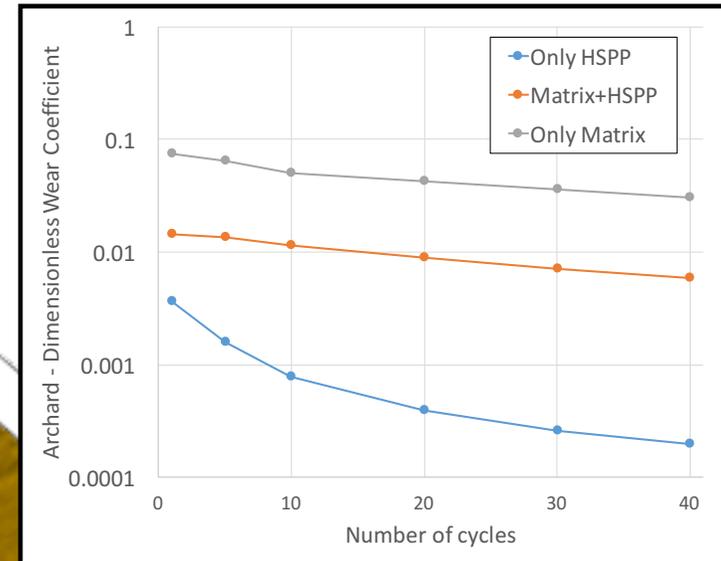
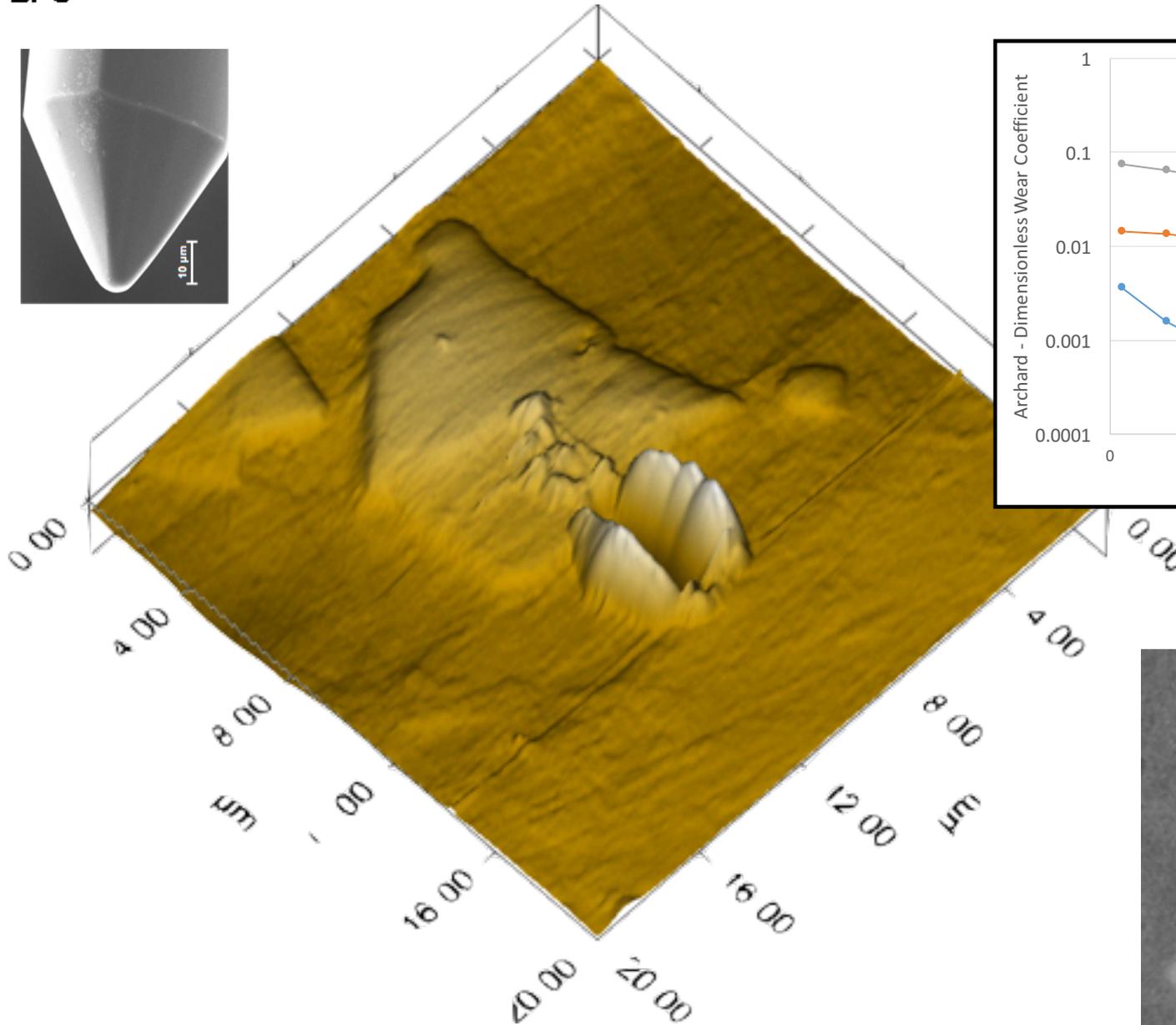
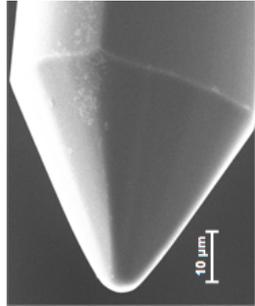
Cerâmicas: desgaste e atrito



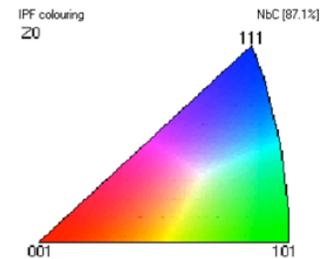
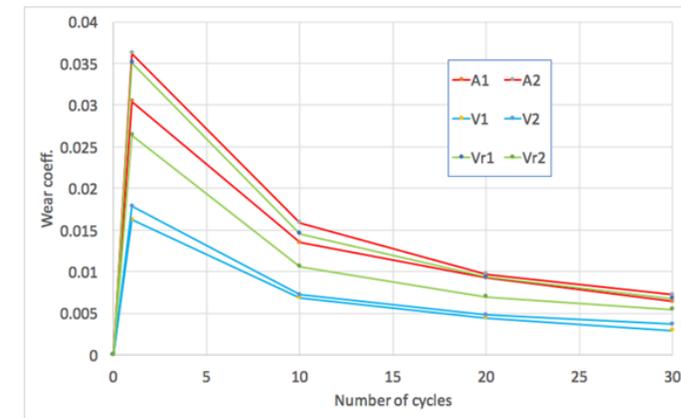
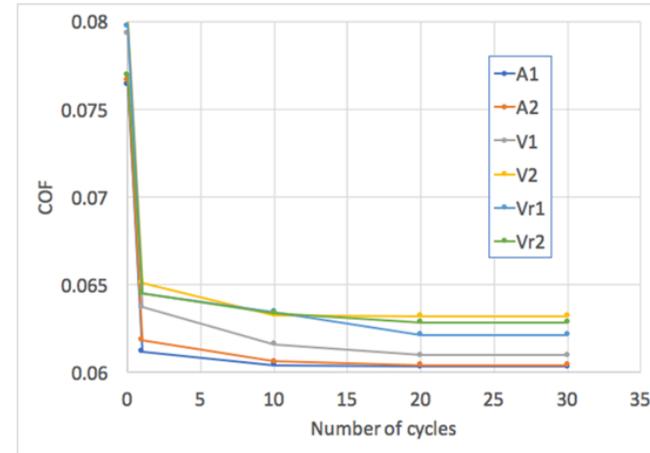
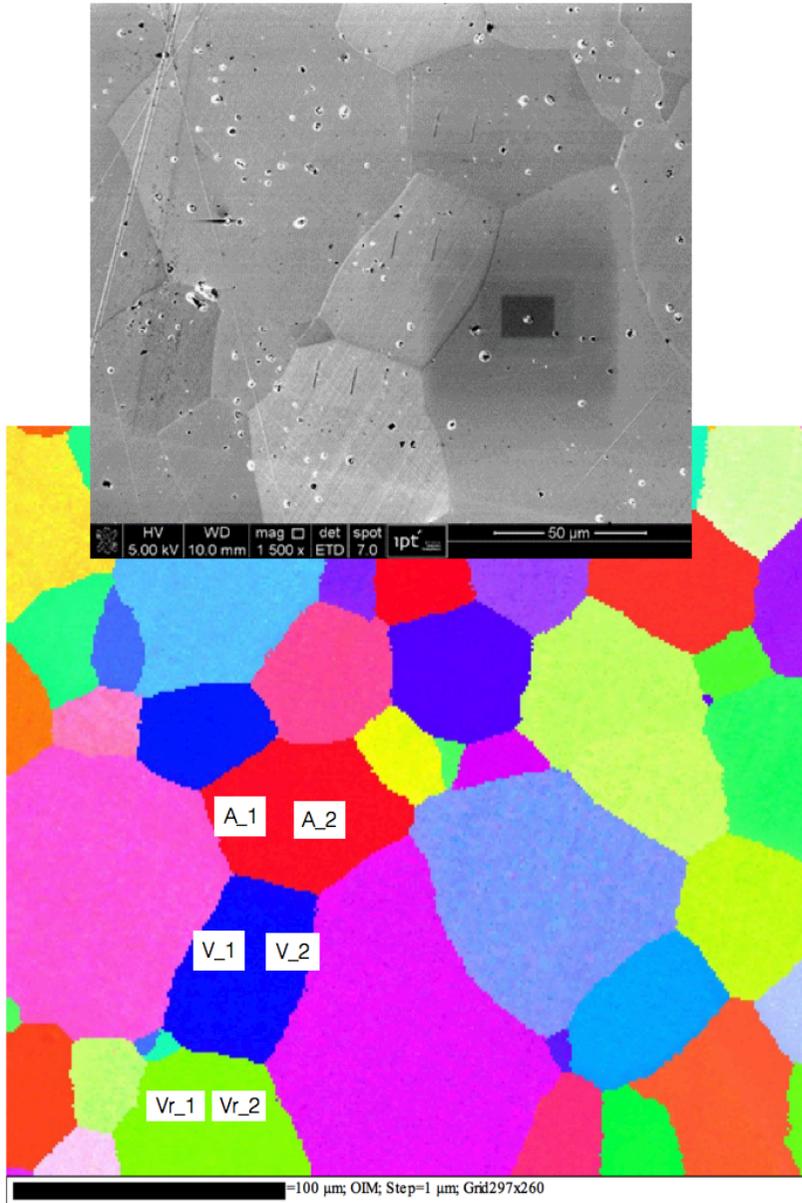


Cerâmicas: desgaste e atrito

$$Q = \frac{kWL}{H}$$

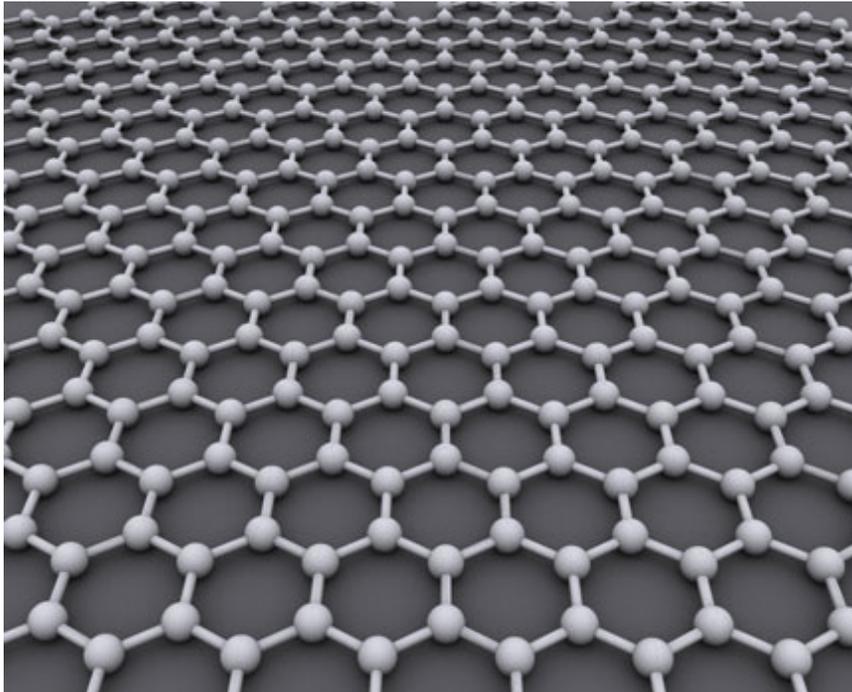


Cerâmicas: desgaste e atrito

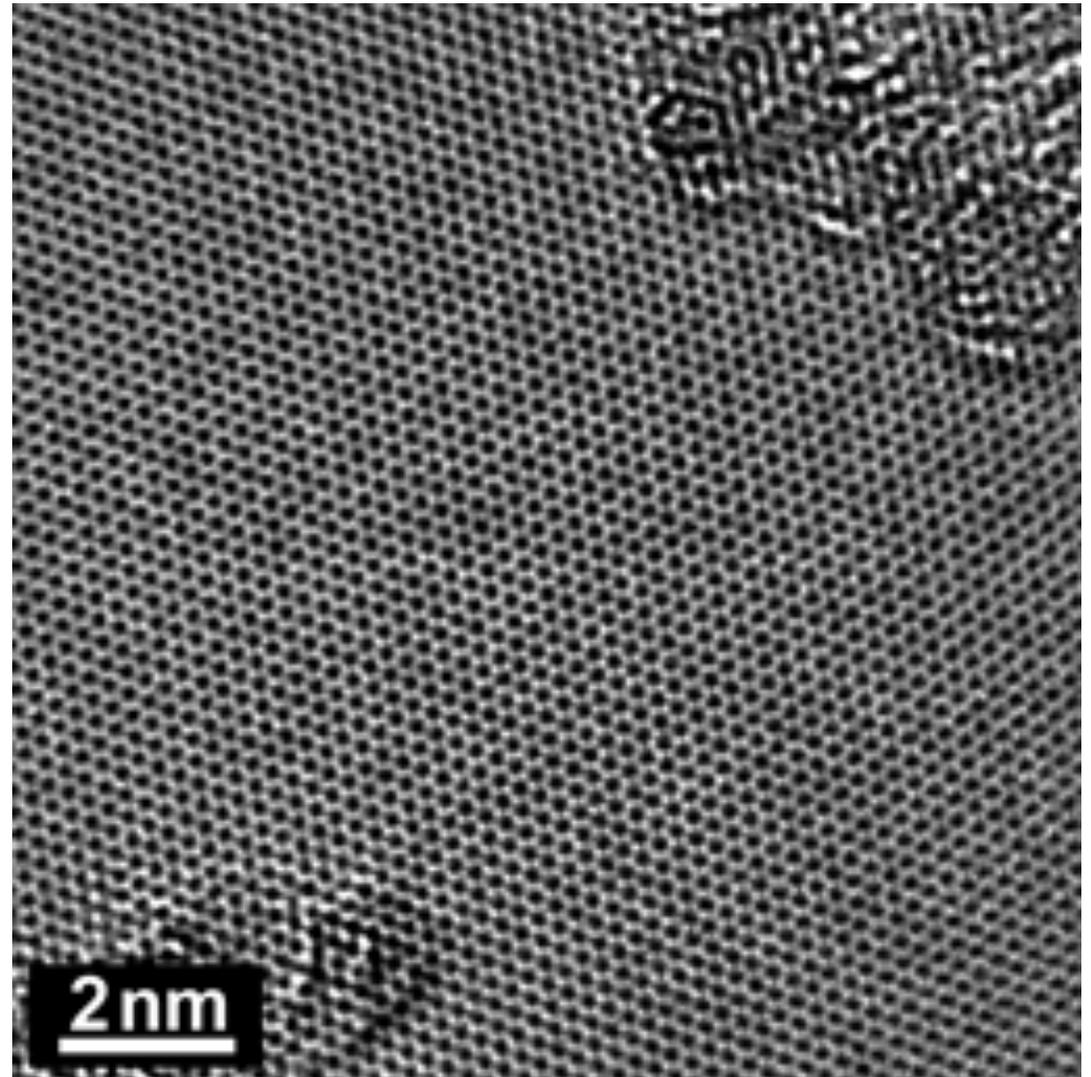




Cerâmicas: grafeno e bi-sulfeto de molibdênio



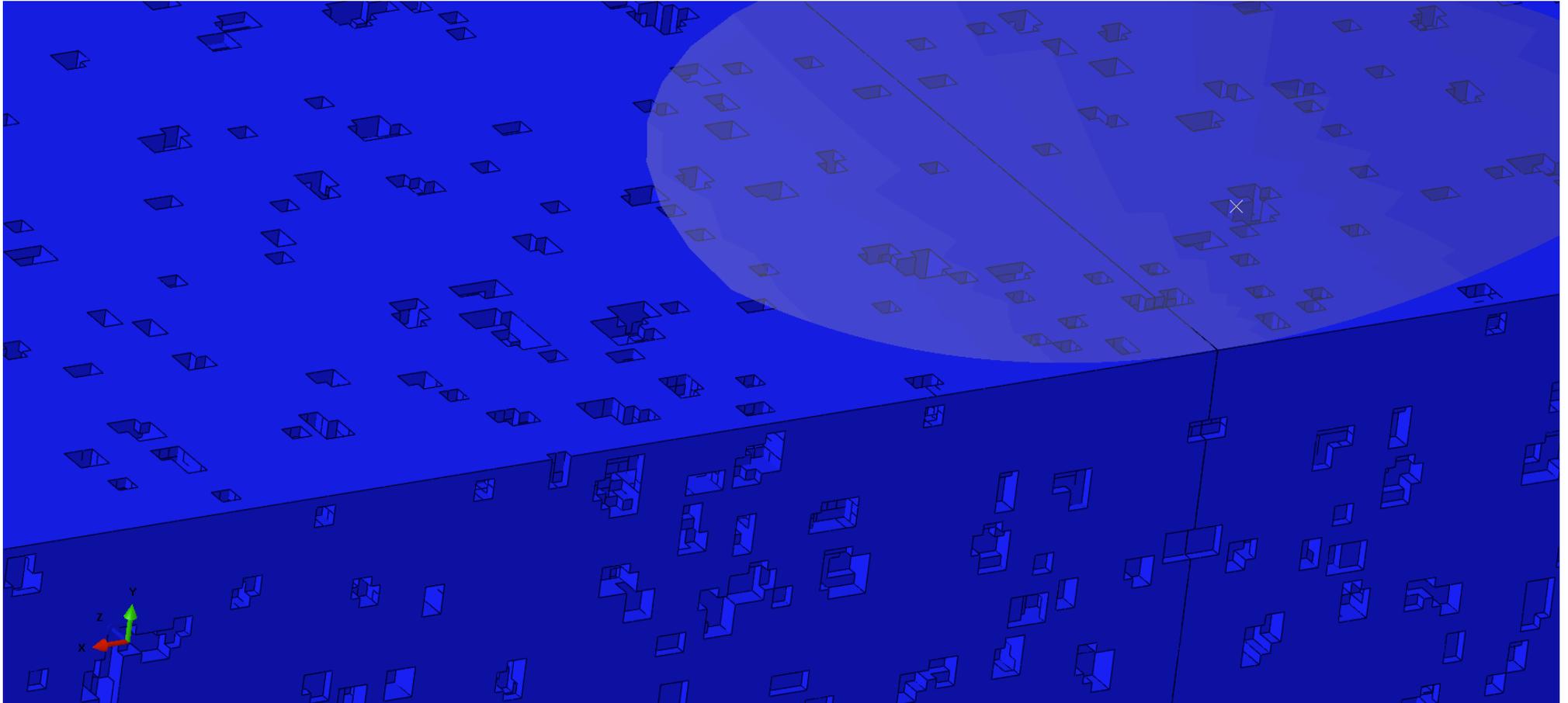
http://www.tedpella.com/Support_Films_html/Graphene-TEM-Support-Film.htm#graphene_films



<http://www.cen.dtu.dk/english/research/projects/actual-high-resolution-tem-on-graphene>



Cerâmicas: porosidade



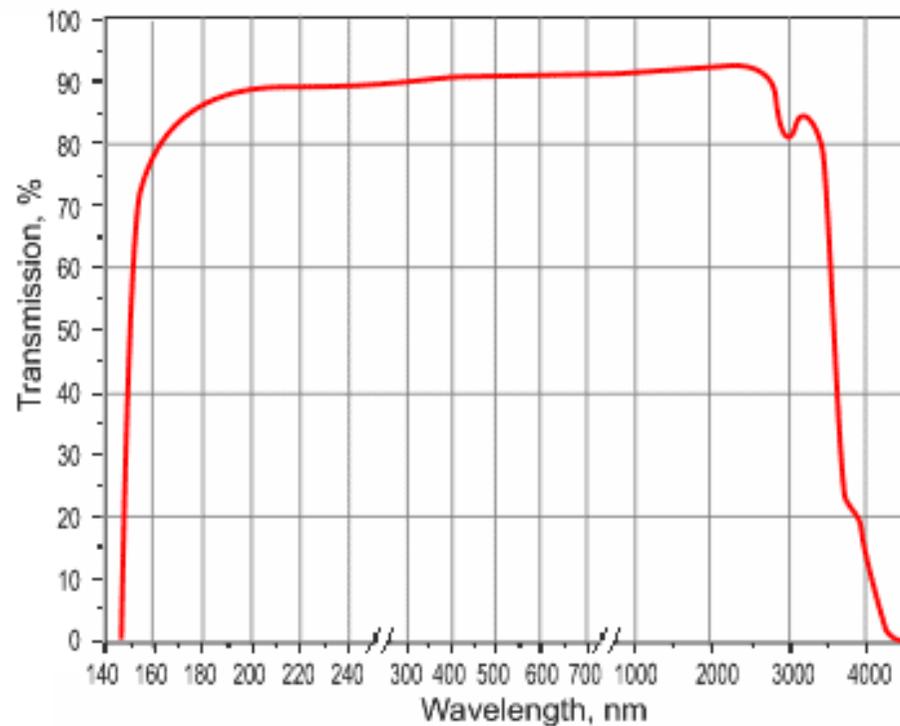


LFS

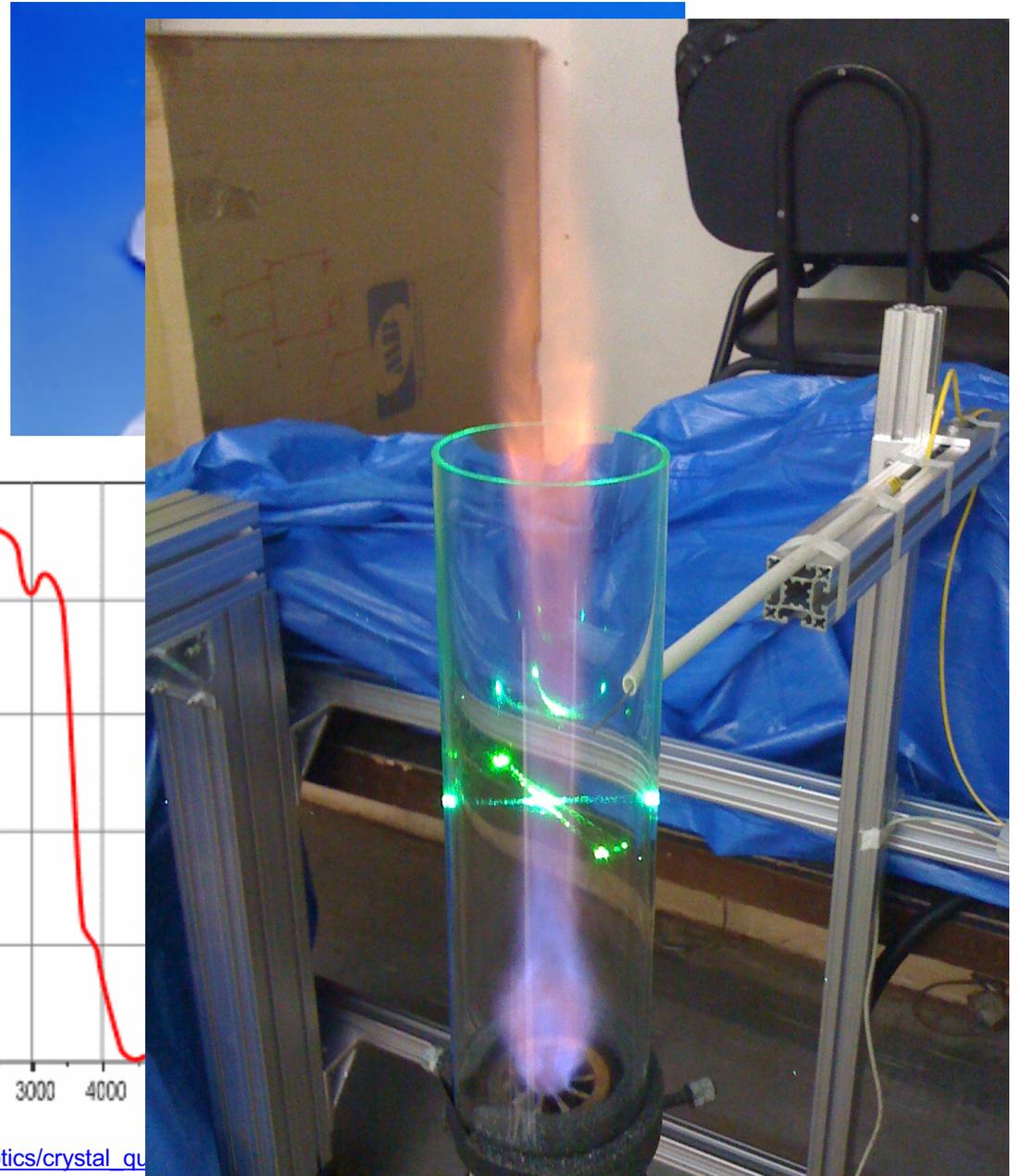
Cerâmicas: ópticas

❖ SiO_2 fundido - Quartzo

- ❖ $T_f - 1500^\circ \text{C}$
- ❖ $H - 8.8 \text{ GPa}$
- ❖ $E - 71.7 \text{ GPa}$
- ❖ $K_c \sim 1 \text{ MPm}^{1/2}$



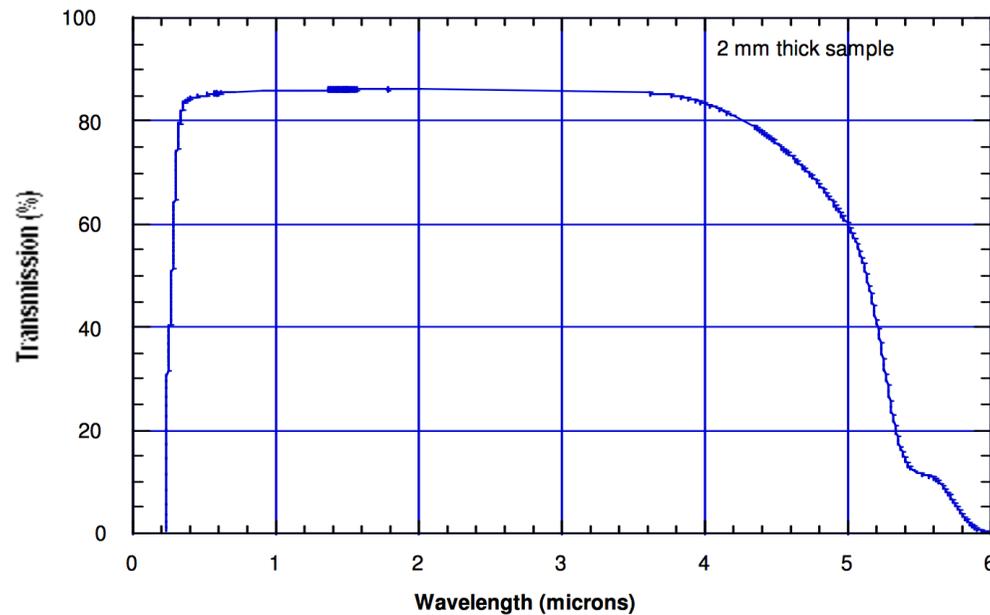
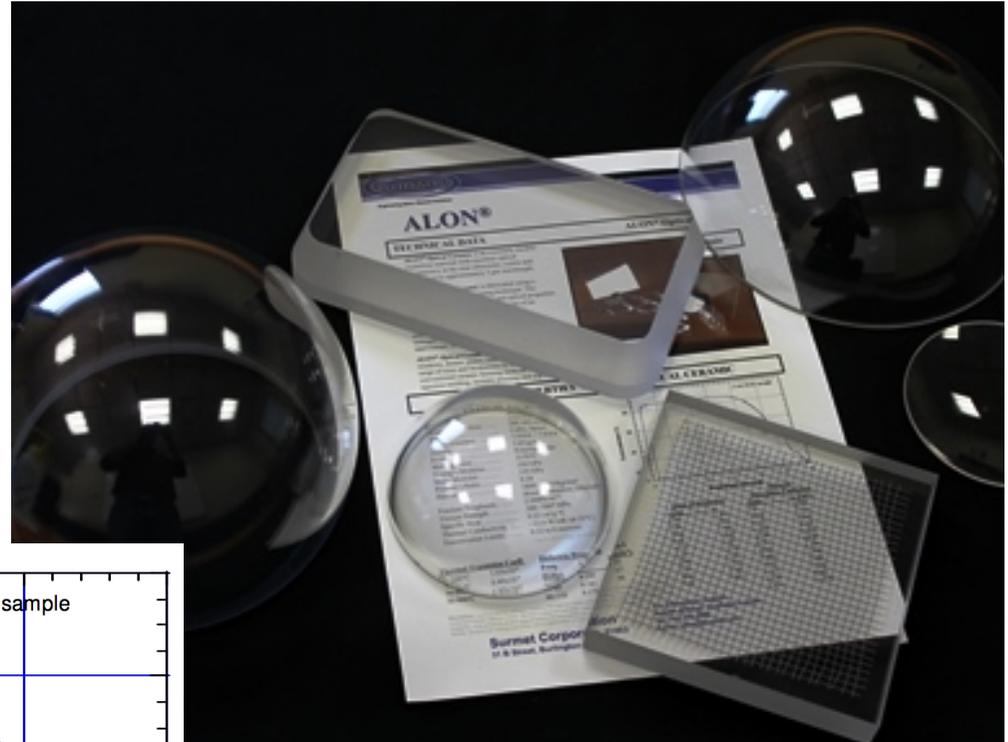
http://www.tydexoptics.com/materials1/for_transmission_optics/crystal_quartz





Cerâmicas: ópticas

- ❖ $\text{Al}_x\text{O}_y\text{N}_z$ – sinterizado ALON[®]
 - ❖ T_f – 2150° C
 - ❖ H ~ 18 GPa
 - ❖ E – 323 GPa
 - ❖ K_{Ic} ~ 2,5 $\text{MPm}^{1/2}$

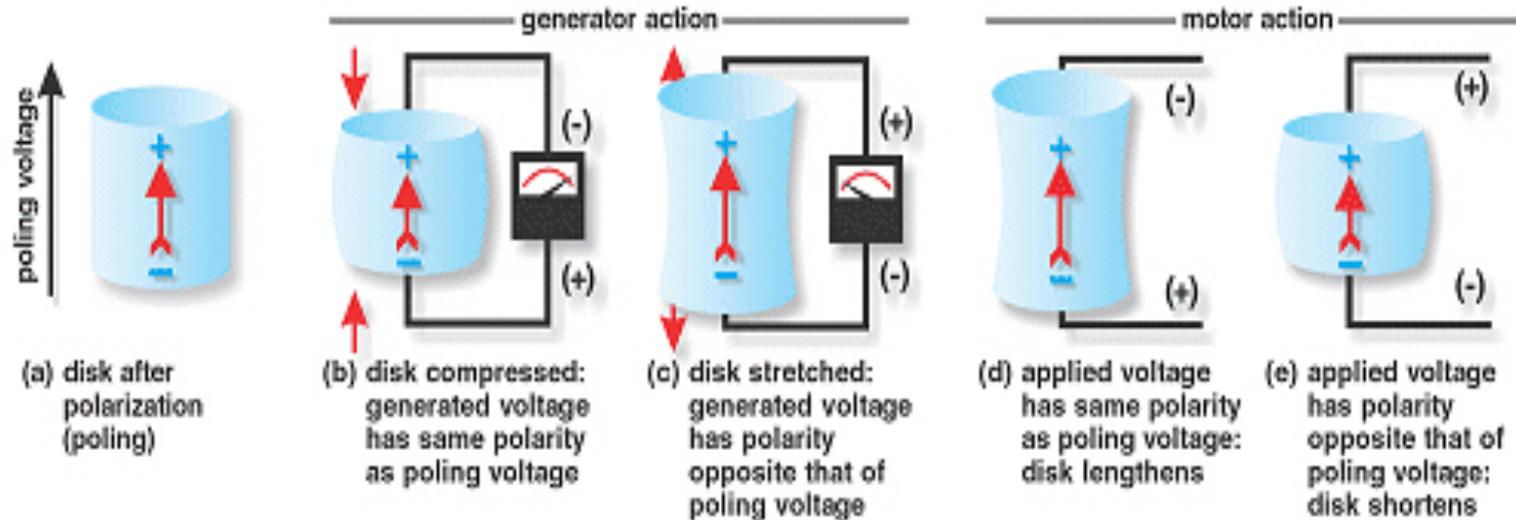


<http://www.surmet.com/technology/alon-optical-ceramics/>

Cerâmicas: eletro-mecânica

- ❖ **Efeito direto:** diferença de potencial elétrico quando aplicada uma deformação mecânica
- ❖ **Efeito inverso:** deformação mecânica quando uma carga elétrica é aplicada

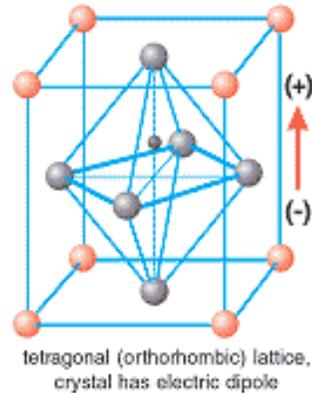
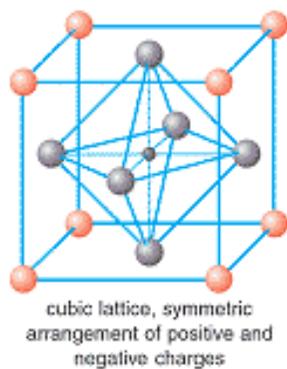
Figure 1.4 Generator and motor actions of a piezoelectric element



<https://www.americanpiezo.com/knowledge-center/piezo-theory/piezoelectricity.html>

Cerâmicas: eletro-mecânica

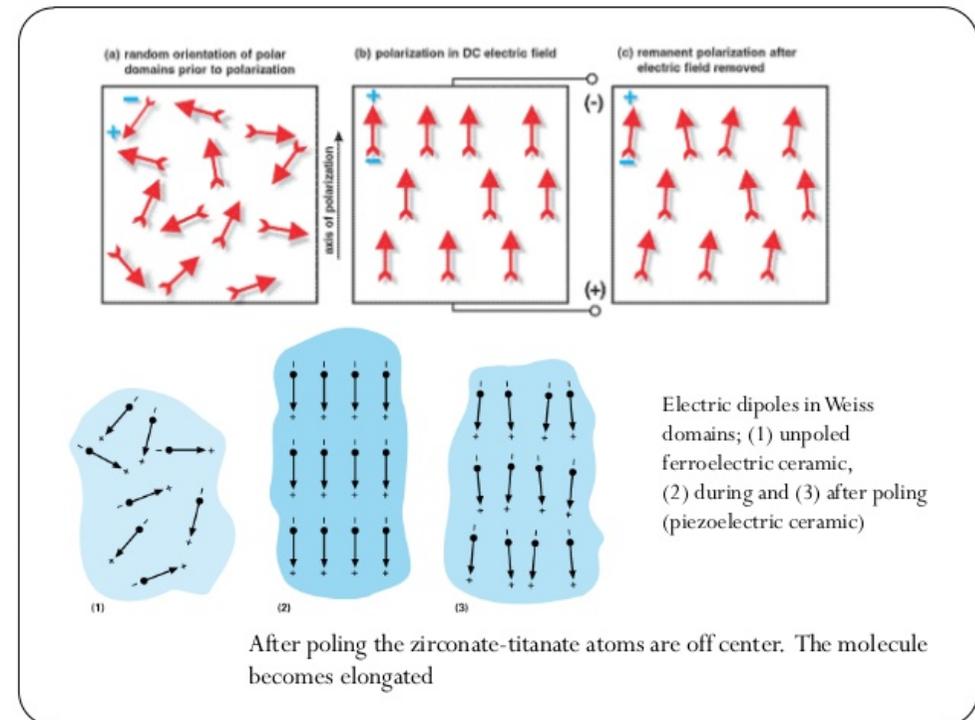
❖ Estrutura cristalina: peroviskita



<https://www.americanpiezo.com/knowledge-center/piezo-theory/piezoelectricity.html>

● A^{2+} = Pb, Ba, other large, divalent metal ion
 ● O^{2-} = oxygen
 ● B^{4+} = Ti, Zr, other smaller, tetravalent metal ion

- ❖ Quartzo (SiO_2)
- ❖ Titanato de Bário ($BaTiO_3$)
- ❖ Titanato zirconato de chumbo (PZT)
- ❖ PLZT (PZT dopado com La)

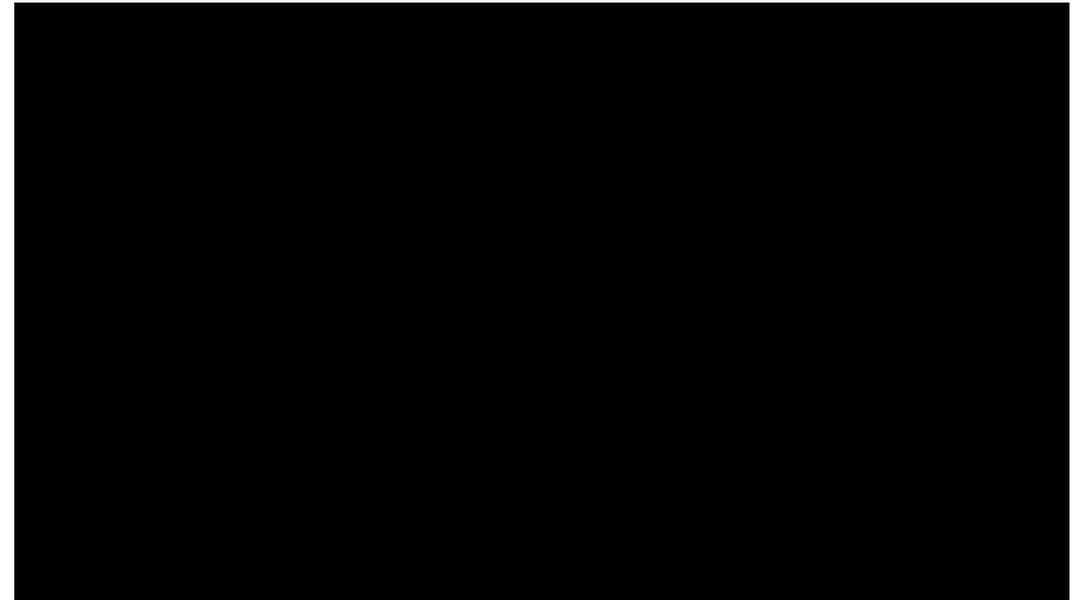




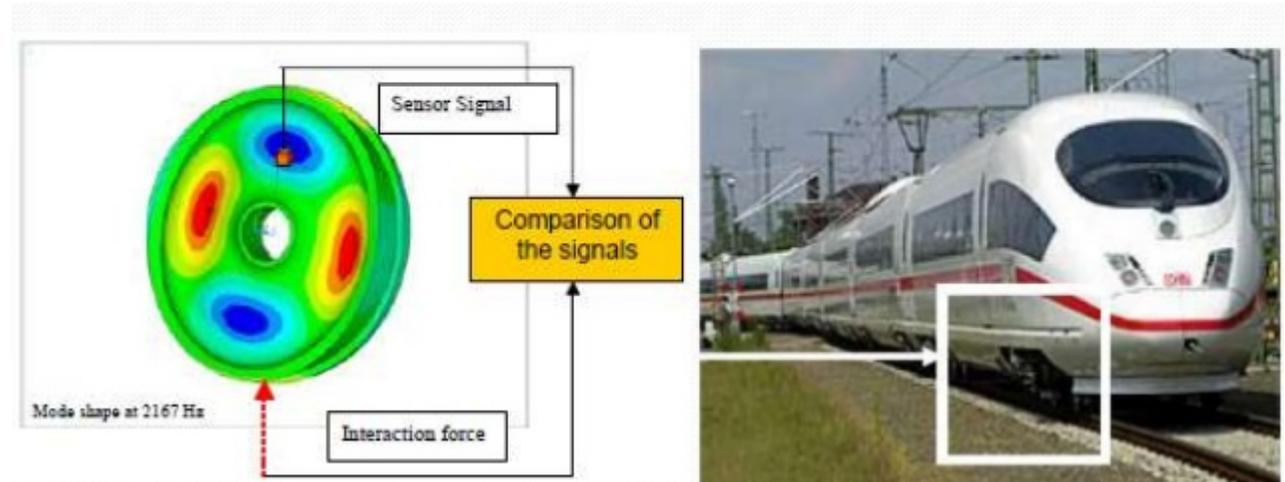
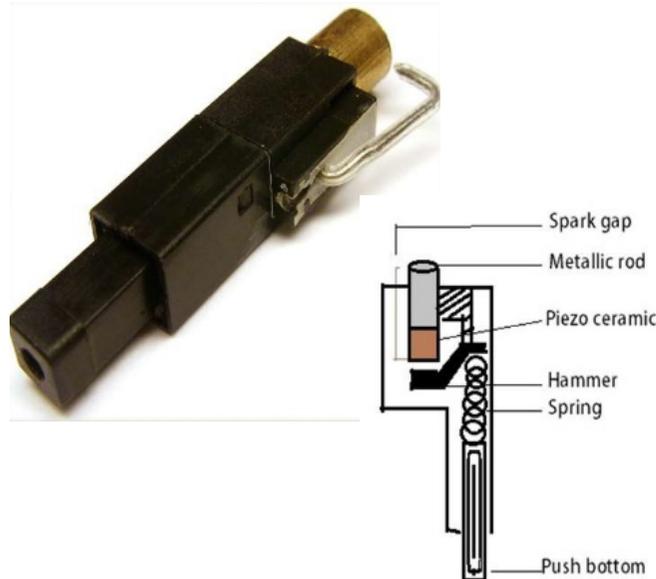
Cerâmicas: eletro-mecânica

❖ Aplicação

- ❖ Relógio – Quartzo oscilador
- ❖ Sensor de deformação ou vibração – PZT
- ❖ Transdutor – PZT
- ❖ MEMS, Acendedores



<https://www.youtube.com/watch?v=sPxnpYHQyFg>



<https://pt.slideshare.net/SubhraShankhaBhattac/piezoelectric-sensors-brief-discussion>



Recobrimentos



Recobrimentos

- ❖ **Revestimentos são utilizados para obter características, como:**
 - ❖ **Redução de desgaste, atrito e/ou corrosão**
 - ❖ **Controle da condutividade térmica**
 - ❖ **Filtragem espectral de radiação eletromagnética**
 - ❖ **Controle de sinais eletrônicos e eletro-mecânicos**
- ❖ **Variam entre 10^{-9} m a 10^{-3} m de espessura**
- ❖ **Multiplos componentes e arranjos espaciais**



Recobrimentos

- ❖ **Tipos de recobrimentos**
- ❖ **Processos de deposição**
- ❖ **Propriedades mecânicas**
- ❖ **Aplicações**

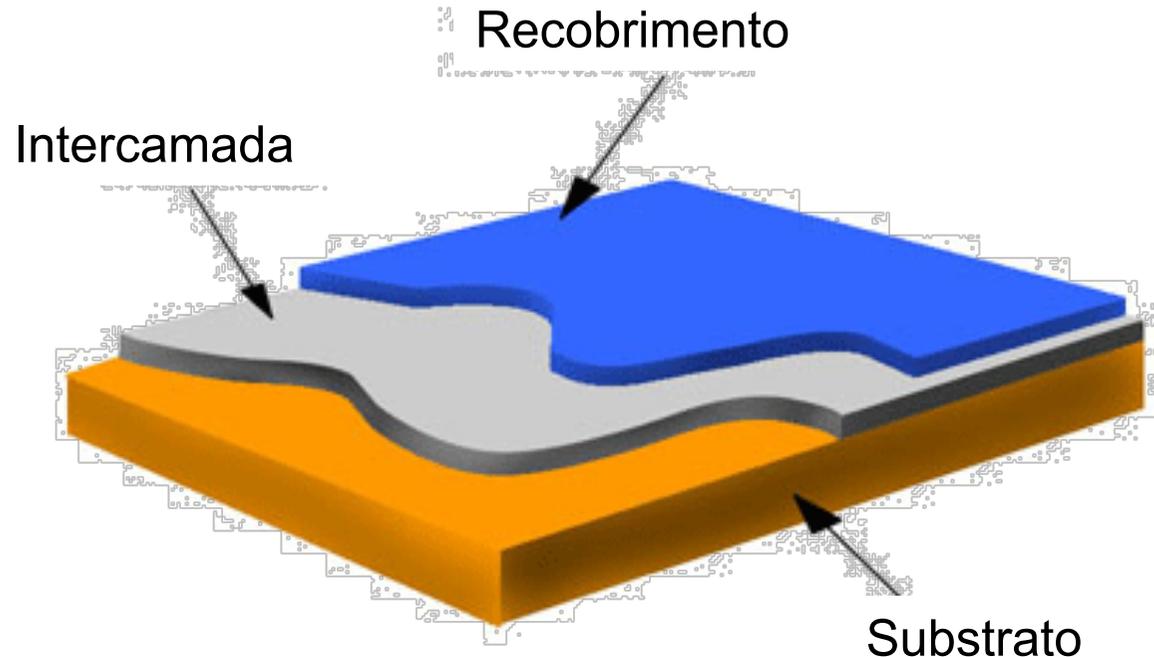


Tipos de Recobrimentos

- ❖ **Metálicos**
 - ❖ Zn, Cr, Ag, Au, Cu...
- ❖ **Cerâmicos**
 - ❖ Óxidos (ZnO , Al_2O_3 , TiO_x)
 - ❖ Carbonetos (NbC , TiC , SiC)
 - ❖ Nitretos, Boretos...
- ❖ **Poliméricos**
 - ❖ PVA
 - ❖ PU
 - ❖ Resina acrílica

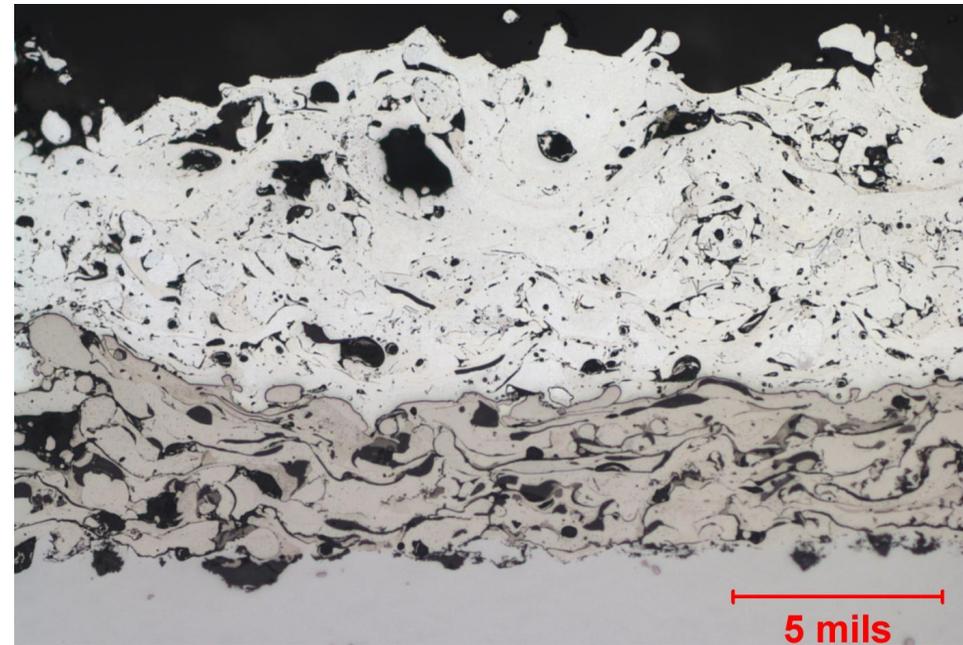
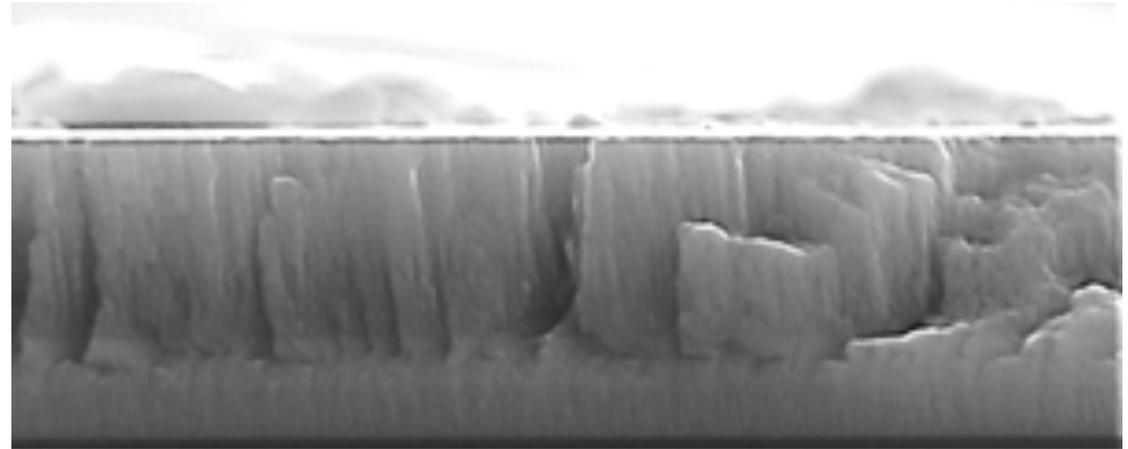
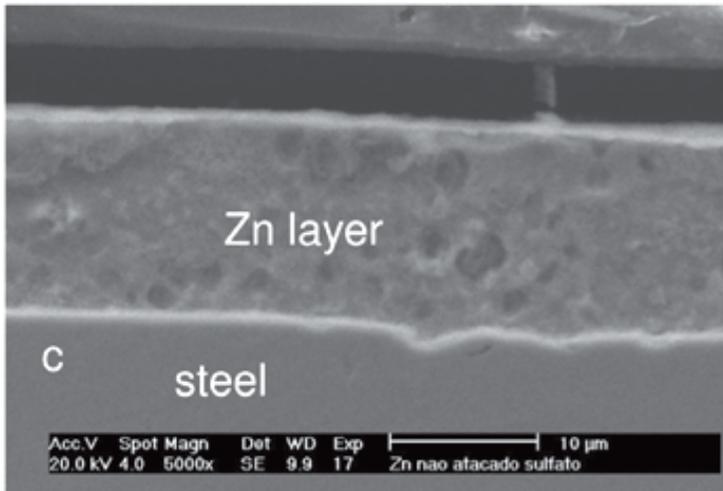
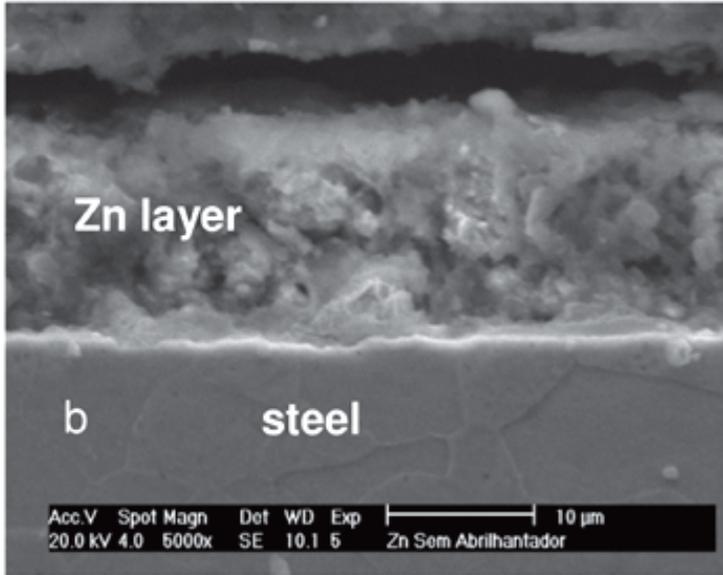


<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-679742179-400gr-corante-em-po-para-fabricaco-de-tinta-para-impressora-JM>



http://www.globalspec.com/learnmore/materials_chemicals_adhesives/industrial_sealants_coatings/industrial_coatings

Tipos de Recobrimentos



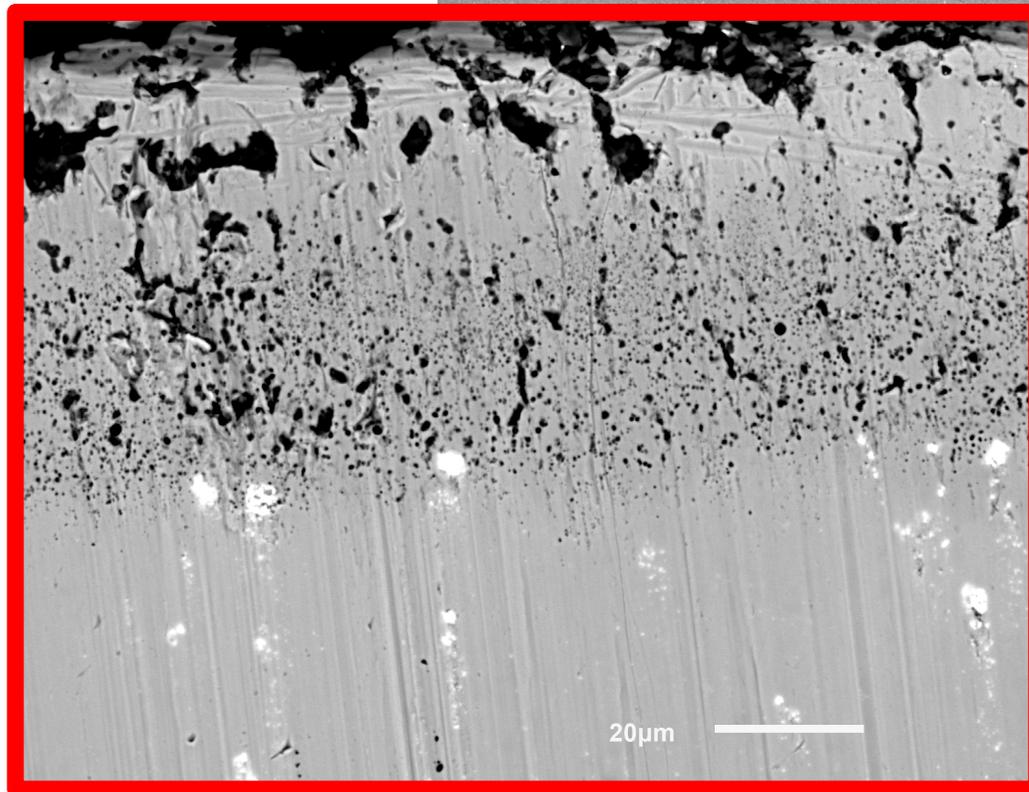
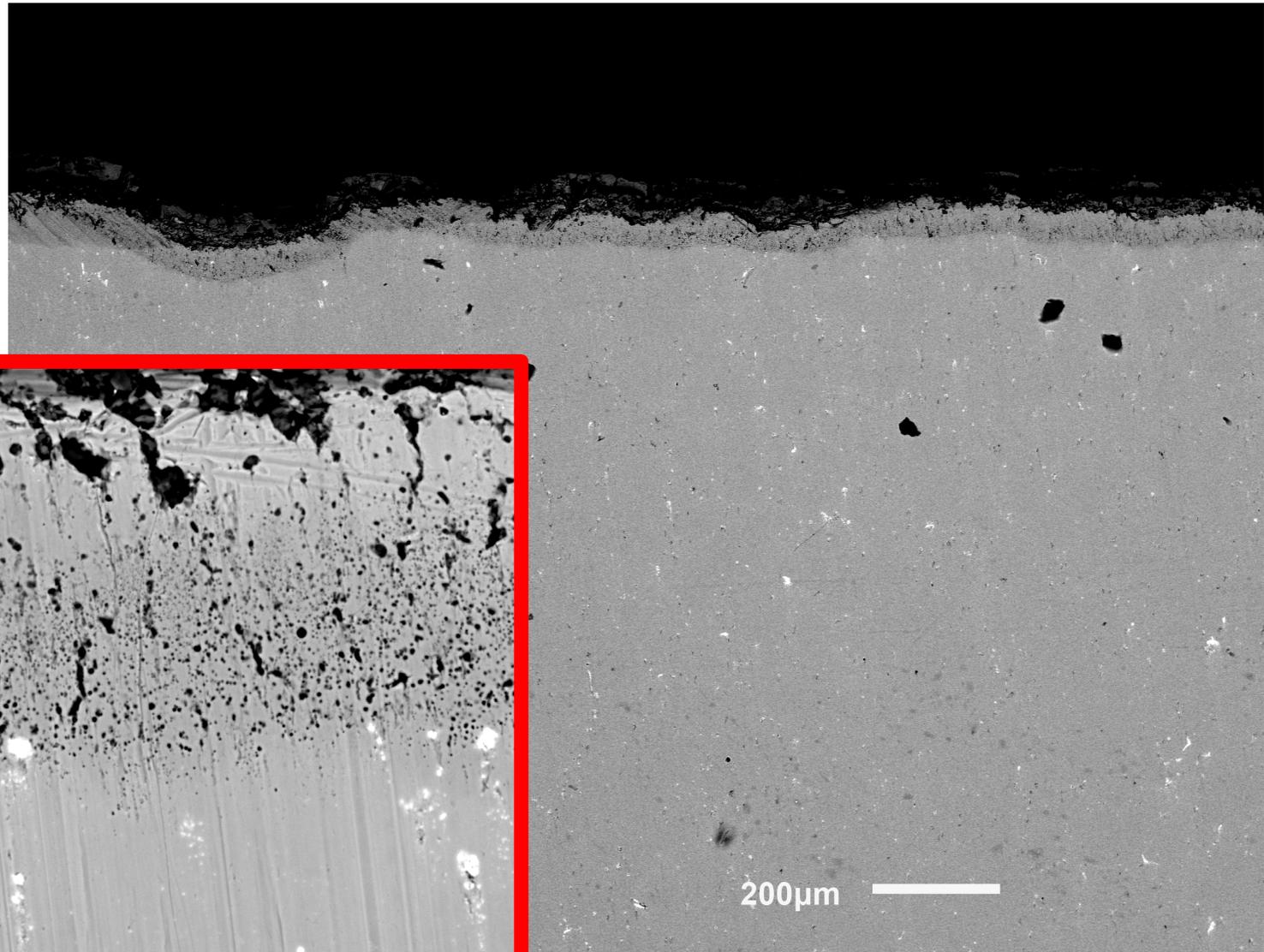
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532007000600010

<https://www.imrtest.com/tests/thermal-spray-coating-analysis>



Tipos de Recobrimentos

- ❖ Oxidação
- ❖ Fe_xO_y





Recobrimentos

- ❖ **Processos de deposição**
 - ❖ **Eletroquímico**

 - ❖ **Laser**

 - ❖ **Spray térmico**

 - ❖ **Deposição de vapor (PVD, CVD)**



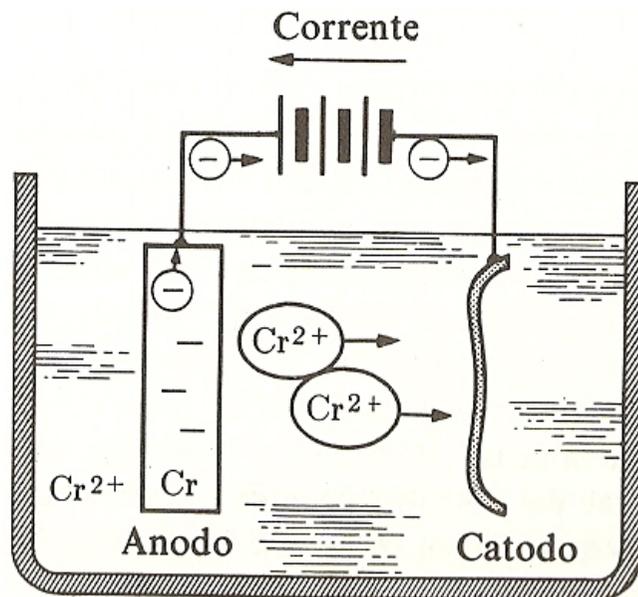
Processos de deposição

❖ Eletrodeposição

- ❖ Espessos
- ❖ Densos
- ❖ Homogêneos
- ❖ Imersão
- ❖ Precursor sólido ou líquido



<http://www.hypeness.com.br/2011/07/audi-r8-cromado/>



<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABYGkAI/corrosao>



<https://www.mobly.com.br/aparador-viterbo-cromado-vidro-incolor-64101.html>



LFS

Processos de deposição

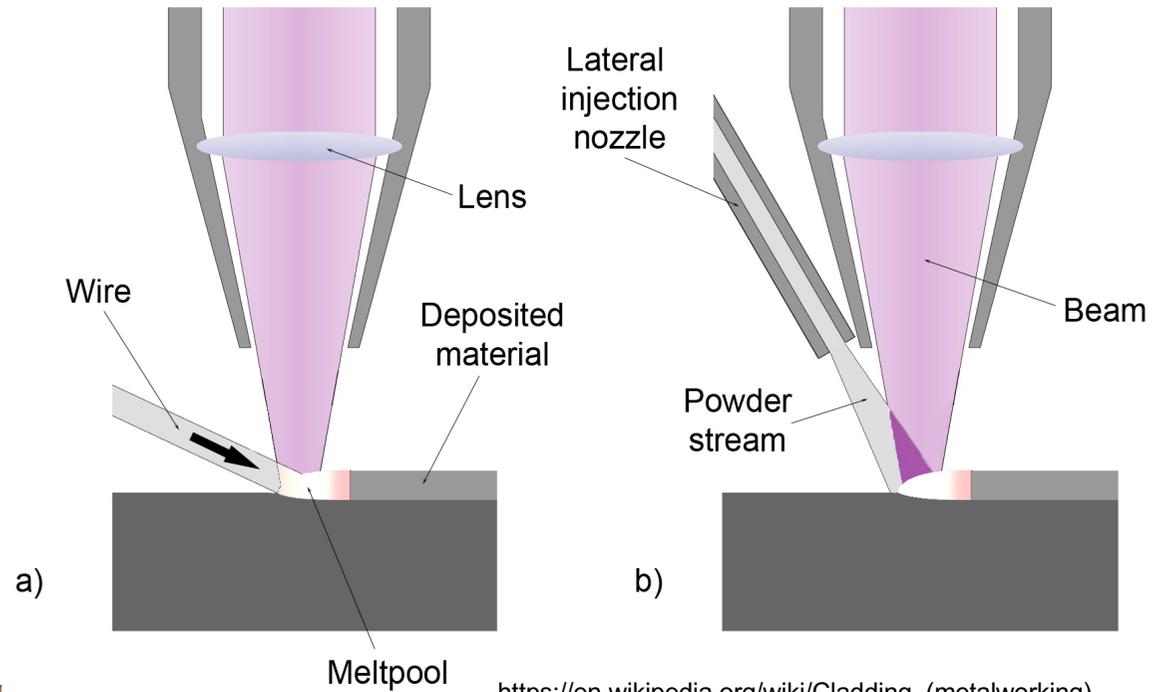
❖ Laser

❖ Espessos

❖ Densos

❖ Linha de visão

❖ Precursor sólido ou líquido



[https://en.wikipedia.org/wiki/Cladding_\(metalworking\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cladding_(metalworking))



<http://www.castolin-eutectic-oiltec.com/services/laser-cladding-services>



<http://www.ogj.com/articles/print/volume-105/issue-34/drilling-production/special-report-lasers-used-to-clad-strengthen-nonmagnetic-steel-equipment.html>



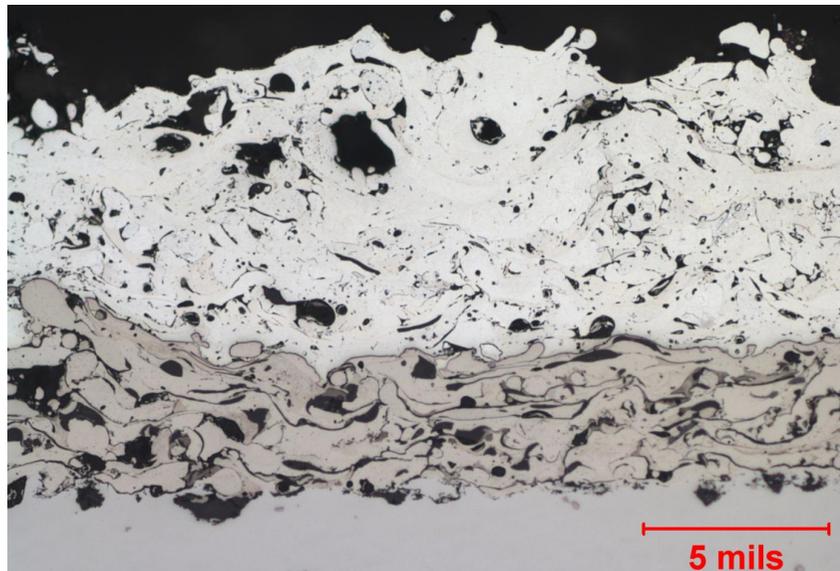
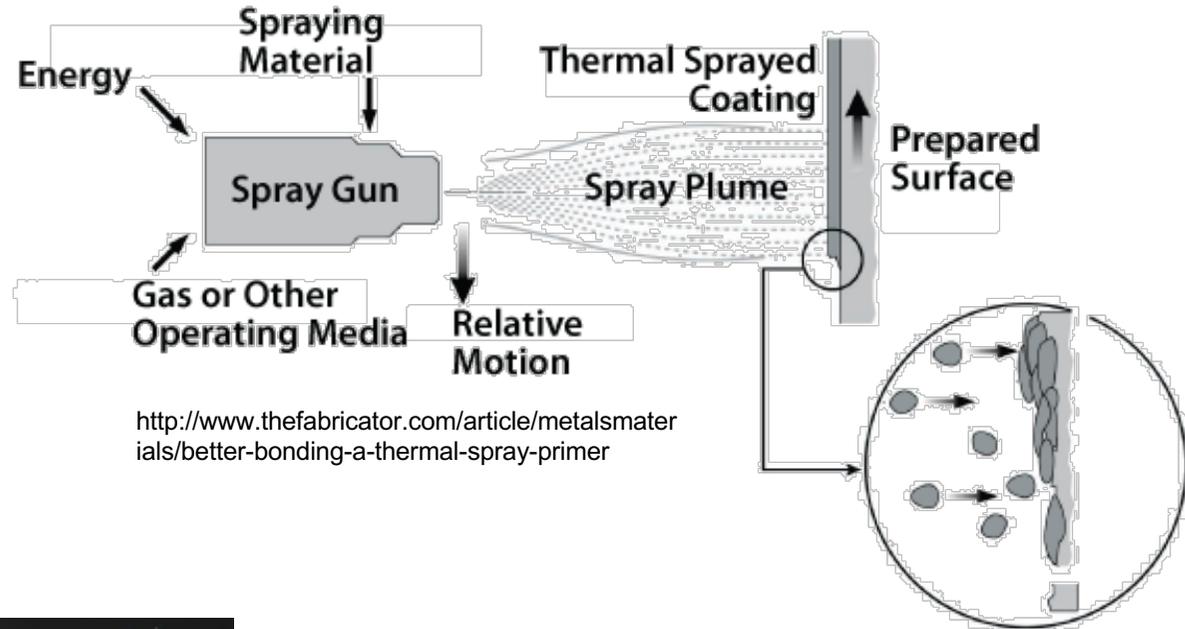
Processos de deposição



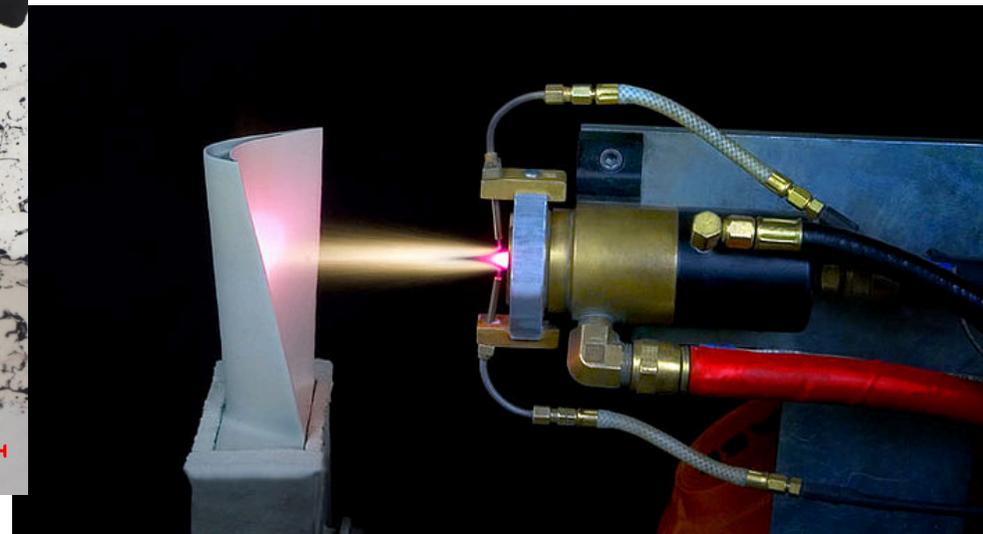
https://www.youtube.com/watch?v=jjPtco8T8_g

Processos de deposição

- ❖ **Aspersão térmica**
 - ❖ **Espessos**
 - ❖ **Porosos**
 - ❖ **Heterogêneos**
 - ❖ **Alta temperatura**
 - ❖ **Linha de visão**
 - ❖ **Precursor sólido**



<https://www.imrtest.com/tests/thermal-spray-coating-analysis>



<https://www.vividinc.com/thermal-coatings-1>