



***“ESTRUTURAS DOS MATERIAIS”***

***Prof. Dr. Durval Rodrigues Junior***

***Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR)  
Escola de Engenharia de Lorena (EEL)  
Universidade de São Paulo (USP)  
Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6 - Lorena, SP 12600-970  
[durval@demar.eel.usp.br](mailto:durval@demar.eel.usp.br)***

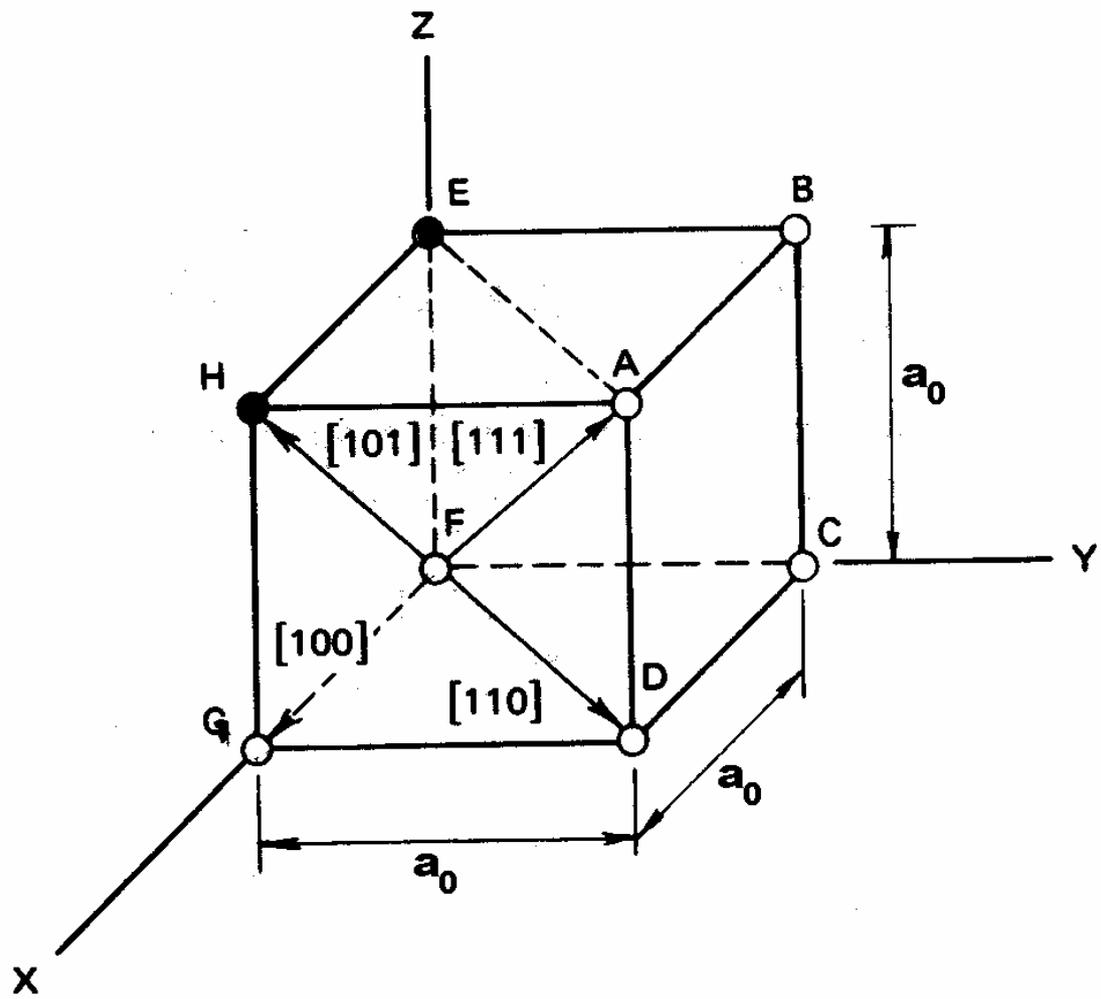


Fig. Representação esquemática do sistema de eixos perpendiculares que permitem especificar os planos e as direções cristalográficas.

# 0) INTRODUÇÃO

## 0.1. IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA “ESTRUTURA DOS MATERIAIS”

Sob o ponto de vista prático, as propriedades que têm maior importância na engenharia são as mecânicas, ou seja, aquelas relacionadas com a resistência que os metais oferecem quando sujeitos a esforços de natureza mecânica, como tração, compressão, torção, choque, cargas cíclicas etc., porque, com base na sua determinação e conhecimento, são projetadas, calculadas e executadas as estruturas metálicas, fixas ou móveis e todos os componentes metálicos utilizados na indústria.

De grande importância é, igualmente, o estudo de certas características físicas e químicas dos materiais, cujo conhecimento pode ser de grande utilidade para sua seleção e utilização. Essas propriedades são, em sua maioria, uma característica do cristal perfeito, ao passo que as propriedades mecânicas dependem geralmente das imperfeições que ocorrem nos metais e nos materiais em geral.

Em outras palavras: enquanto as propriedades mecânicas se relacionam com uma amostra particular do material, sendo somente idênticas em várias amostras do mesmo material quando as condições de fabricação e tratamento forem perfeitamente idênticas, as características gerais, físicas, químicas etc., se relacionam diretamente com o material, ou seja, são essencialmente idênticas em diferentes amostras do material.

As propriedades mecânicas são "sensíveis", na sua maioria, à estrutura do material. As características gerais são "não-sensíveis" à estrutura. A Tabela I apresenta uma análise da influência da estrutura dos materiais em algumas propriedades.

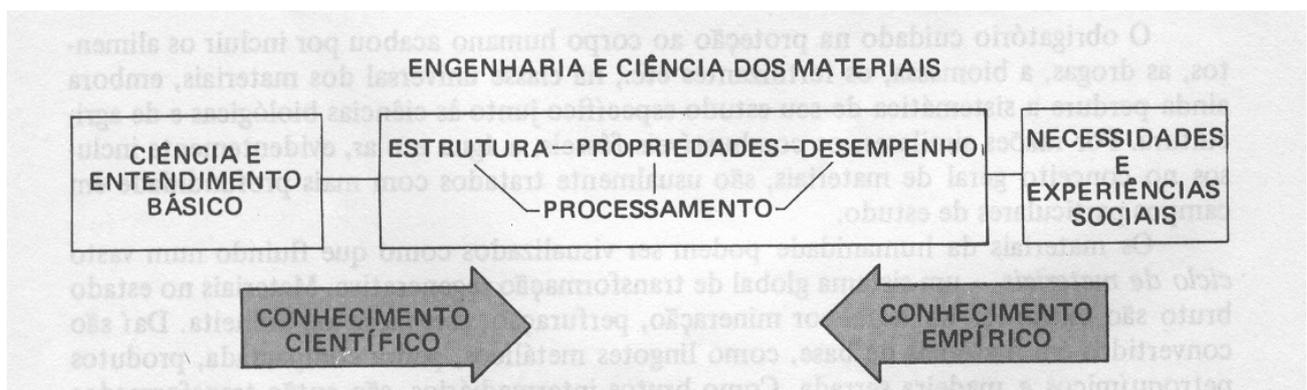


Fig. 1. Uma representação esquemática da Engenharia e Ciência dos Materiais com respeito aos fluxos de conhecimento científico e de conhecimento empírico [Van Vlack].

**TABELA I - PROPRIEDADES SENSÍVEIS E NÃO-SENSÍVEIS À ESTRUTURA**

<i>PROPRIEDADES</i>	<i>NÃO SENSÍVEIS À ESTRUTURA</i>	<i>SENSÍVEIS À ESTRUTURA</i>
	Densidade	
Mecânicas	Módulo de elasticidade	Resistência mecânica Plasticidade
Térmicas	Dilatação térmica (a alta temperatura)  Ponto de Fusão  Calor específico  Calor de fusão	Condutividade térmica (especialmente a baixas temperaturas)
Elétricas	Resistividade (a alta temperatura)  Potencial eletro-químico	Resistividade (a baixa temperatura), em semicondutores e metais
Magnéticas	Propriedades paramagnéticas e diamagnéticas	Propriedades ferromagnéticas
Supercondutoras	Temperatura de transição	Capacidade condutora de corrente

Tecnologia Mecânica, Chiaverini, Unicamp

## ***Estrutura interna e propriedades [Van Vlack]***

Já que é, obviamente, impossível para o engenheiro ou cientista ter um conhecimento detalhado dos vários milhares de materiais atualmente disponíveis, tanto quanto manter-se completamente informado de novos desenvolvimentos, ele deve, pelo menos, dispor de uma base firme sobre os princípios que regem as propriedades de todos os materiais. O princípio de maior valor para os engenheiros e cientistas é as propriedades de um material originarem-se na sua estrutura interna. Isto é análogo a dizer que o funcionamento de um televisor ou outro equipamento eletrônico depende dos componentes, esquemas e circuitos dentro desse produto. Qualquer um pode girar botões, mas os técnicos em eletrônica devem entender dos circuitos internos se desejarem consertar um televisor eficientemente; e o engenheiro eletricista, tal qual o físico, precisa conhecer as características de cada elemento do circuito se estiver envolvido com o projeto ou com a melhoria de desempenho do produto final.

As estruturas internas dos materiais envolvem não apenas os átomos, como também o modo como estes se associam com seus vizinhos, em cristais, moléculas e microestruturas. No presente curso dedicaremos maior atenção a esses arranjos.

## ***Processamento e propriedades [Van Vlack]***

Os materiais necessitam ser processados para atingir as especificações que o engenheiro requer para o produto projetado. As etapas de um processamento mais comum simplesmente mudam a forma da matéria, usinando ou forjando. Claro que as propriedades são importantes para um processamento adequado. Materiais extremamente endurecidos destroem imediatamente o gume de uma ferramenta cortante, enquanto que materiais macios como o chumbo podem "empenar" lâminas de serra, discos abrasivos e outras ferramentas. Da mesma forma materiais muito resistentes não se habilitam a deformações plásticas, principalmente se também forem não-dúcteis, isto é, frágeis. Por exemplo, seria proibitivamente caro produzir chapa metálica para a maioria dos pára-choques de carro com alguma coisa que não fosse o mais macio dos aços.

O processamento usualmente envolve mais do que uma simples mudança de forma por usinagem ou deformação plástica. Não raro, o processo de fabricação muda as propriedades de um material. Por exemplo, um fio elétrico é fortalecido por endurecimento se for trefilado. Normalmente este endurecimento não é desejado em um fio de cobre a ser usado como condutor elétrico; de modo oposto, o engenheiro depende desse fortalecimento durante o processamento de um arame de aço a ser usado como recheio de correias e pneus radiais. Quer desejadas ou não, as modificações das propriedades devem ser esperadas sempre que o processo de fabricação alterar a estrutura interna do material. A estrutura interna de um material é alterada quando é deformada; por esta razão, suas propriedades também se alteram.

O processamento térmico também pode afetar a estrutura interna de uma material. Tal processamento inclui recozimento, resfriamento brusco a partir de elevadas temperaturas (*quench*) e uma série de outros tratamentos térmicos. Nosso objetivo será entender a natureza das mudanças de estrutura, a ponto de, como engenheiros, poder especificar de forma apropriada a sequência das etapas de processamento.