

CURSO CONCEITOS DE NANOTECNOLOGIA E IMPACTOS À SAÚDE DOS TRABALHADORES

20 e 21 de julho de 2017
FUNDACENTRO
Florianópolis
Importância do Tamanho
Parte 1



A IMPORTÂNCIA DO TAMANHO



Nanômetro?

1 metro = 1 bilhão de nanômetros

O que representa isto?



Múltiplo	Nome	Símbolo	Submúltiplo	Nome	Símbolo
10^0	metro	m	10^0	metro	m
10^1	decâmetro	dam	10^{-1}	decímetro	dm
10^2	hectômetro	hm	10^{-2}	centímetro	cm
10^3	quilômetro	km	10^{-3}	milímetro	mm
10^6	megametro	Mm	10^{-6}	micrômetro	μm
10^9	gigametro	Gm	10^{-9}	nanômetro	nm
10^{12}	terametro	Tm	10^{-10}	Ångstrom	Å
10^{15}	petametro	Pm	10^{-12}	picômetro	pm
10^{18}	exametro	Em	10^{-15}	femtômetro	fm
10^{21}	zettametro	Zm	10^{-18}	attometro	am
10^{24}	iotametro	Ym	10^{-21}	zeptômetro	zm

Como Podemos Medir as Coisas?



- ✓ Uma estrada medimos em quilômetros...
- ✓ $1\text{km} = 10^3\text{m}$

Como Podemos Medir as Coisas?

- ✓ Árvores são medidas em metros...



Como Podemos Medir as Coisas?

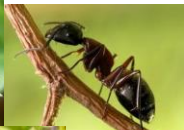


- ✓ Borboletas são medidas em centímetros...
- ✓ $1\text{cm} = 10^{-2}\text{m}$



Como Podemos Medir as Coisas?

- ✓ Insetos pequenos são medidos em milímetros...
- ✓ $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$



Como Podemos Medir as Coisas?



- ✓ Fio de cabelo é medido em micrômetros. Eles têm cerca de 100 micrômetros de espessura e esta é praticamente a menor medida que a gente consegue ver a olho nu...
- ✓ $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$

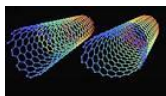


Como Podemos Medir as Coisas?

✓ As bactérias e as células vermelhas do sangue (hemácias), que medem menos de 10 micrômetros, só são vistas com auxílio de microscópios chamados ópticos, que possuem lentes de aumento...



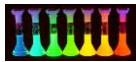
Como Podemos Medir as Coisas?



Nanotubo de Carbono



DNA



Pontos Quânticos



Fulereno



Virus

O menor objeto que podemos ver com um "microscópio óptico" é de cerca 500 nanômetros. Assim, vírus que medem menos de 500nm ou nanopartículas na escala de 1 a 100 nanômetros só podem ser vistas com auxílio de microscópios eletrônicos especiais...

Comparando os Tamanhos



✓ A distância entre Florianópolis e Maceió é de 3.168 km ~ 3.000 km
 $3.000 \text{ km} = 3.000.000 \text{ metro}$ (3.000 mil metros)
 $\sim 3 \text{ milhões de metros} =$
 $\sim 3 \text{ bilhões de milímetros}$

Comparando os Tamanhos

✓ A ponta de uma caneta esferográfica tem cerca de 3 milímetros.

✓ A ponta de uma caneta esferográfica comparada com toda a distância entre Florianópolis e Maceió tem a mesma relação de tamanho que a comparação entre 1 nanômetro e 1 metro!

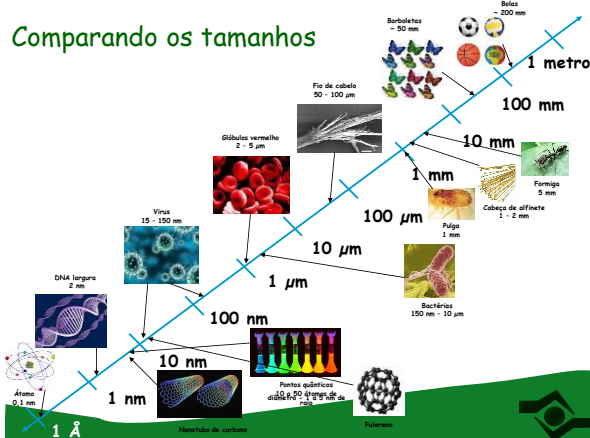


Nanotecnologia ou Nanotecnologias?

Existem várias “Nanotecnologias”:

- ✓ As tecnologias que manipulam materiais em tamanho nano são diferentes dependendo do campo de aplicação: medicina, condutores, informática, etc.
- ✓ O que todas tem em comum é que envolvem o estudo e a manipulação da matéria em uma escala muito pequena, geralmente da ordem de 1 a 100 nanômetros.

Comparando os tamanhos



Características Básicas dos Nanomateriais

- ✓ Reduzir o tamanho dos materiais até a nanoescala pode ocasionar mudanças significativas em suas propriedades.
- ✓ Devido ser tão pequenas, as nanopartículas têm uma **grande relação superfície/volume** que é um dos fatores responsáveis por novas propriedades físicas e químicas.
- ✓ A diminuição do tamanho faz com que **aumente a área superficial** das partículas.



Características Básicas dos Nanomateriais



Relação superfície/volume

Comparando a mesma quantidade de sal grosso e refinado, qual ocupa mais espaço? Volume?

Qual é mais fácil de dissolver?

Aqui não é propriamente uma nova propriedade mas dá idéia da **importância do tamanho da partícula na propriedade das substâncias**



Importância do tamanho

Aço é usado para fabricar panelas que vão direto no fogo



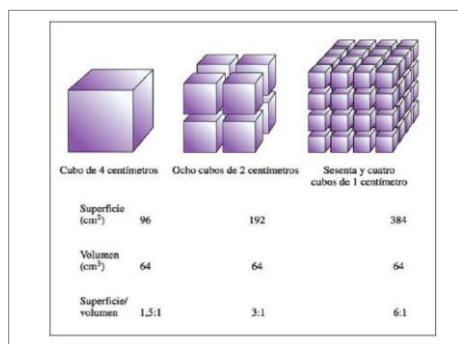
Porém, palha de aço se for colocada no fogo, queima!



Aumento da área superficial



Importância do Tamanho



Relação entre o Tamanho da Partícula e o Área Superficial

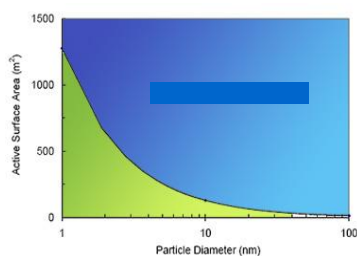
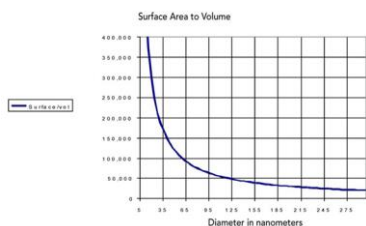


Gráfico mais comum!

<http://www.mobisenergy.com/catalystdesign.html>



Relação entre o Tamanho da Partícula e o Área Superficial



www.nanohorizons.com/AboutNanoTechnology.html

Número de Partículas e Área Superficial de 10pg/cm³ de Material Particulado no Ar

Diâmetro da partícula	Número de partículas por (N/cm³)	Área superficial das partículas (µm²)
5	153.000.000	12.000
20	2.400.000	3.016
250	1.200	240
5000	0,15	12

Fonte: Oberdörster, G. Biokinetics and Toxicological Issues and effects of nanoparticles, in: Environmental Safety, Springer, Simeanova, P.P. et al. Nanotechnology 2006

Importância do Tamanho

- ✓ A área superficial é importante porque muitas reações químicas envolvendo sólidos acontecem na superfície, onde as ligações químicas são incompletas.
- ✓ Isto provoca um grande aumento da energia superficial e, em consequência, da reatividade das partículas, o que por exemplo, provoca um aumento na atividade catalítica de alguns materiais.

Importância do Tamanho

Uma corrente de ferro de elos grossos e várias correntes de elos finos para puxar o mesmo peso, qual enferruja antes?



Importância do Tamanho

- ✓ Outra razão para as substâncias mudarem de comportamento é o fato de que na medida em que a matéria é reduzida à escala nanométrica as suas propriedades começam a ser dominadas por **efeitos quânticos**.



Importância do Tamanho

- ✓ A **teoria quântica** é um ramo da física que **explica**, entre outras coisas, o **comportamento dos átomos e dos elétrons na matéria**. De acordo com ela, os elétrons podem se comportar como ondas, o que se manifesta de forma mais clara quando o material tem dimensões nanométricas. Para amostras com um número pequeno de átomos, o comportamento dos elétrons se assemelha ao observado para as vibrações da corda de um violão, que - como é sabido - só são bem definidas para certos valores de frequências.
- ✓ Esta limitação sobre o movimento dos elétrons, conhecida como **confinamento quântico**, tem efeito direto sobre diferentes propriedades físicas das amostras nanoscópicas, como, por exemplo, sua cor e sua condutividade elétrica. *Fonte: Nanociências e nanotecnologia - Marcos A. Pimenta, Celso P. Melo.*



<http://www.ufsm.br/pgfisica/mc2.pdf>

Importância do Tamanho

- ✓ Estas características da matéria na escala nanométrica são responsáveis pela constatação de que nesta escala as propriedades dos materiais podem se **alterar drasticamente em relação aos mesmos materiais na escala macro.**



Importância do Tamanho

- ✓ Apenas com a **redução de tamanho** e sem alteração de substância, verifica-se que os materiais apresentam **novas propriedades e características.**



Características Básicas dos Nanomateriais

Alteração de propriedades pode incluir mudança de:

- ✓ Cor, solubilidade,
- ✓ Resistência do material,
- ✓ Condutividade elétrica,
- ✓ Comportamento magnético,
- ✓ Mobilidade (no corpo humano e no ambiente),
- ✓ Propriedades físico químicas como ponto de fusão, reatividade química e
- ✓ Atividade biológica, entre outras alterações.

Tudo isto vai depender das características das nanopartículas.



Características das Partículas

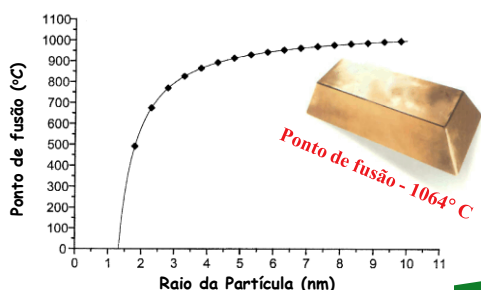
TERMO	DEFINIÇÃO
Diâmetro Aerodinâmico	diâmetro de uma partícula esférica com densidade de 1000 kg/m ³ , que tem a mesma velocidade de sedimentação como a partícula sob consideração Nota: o diâmetro aerodinâmico está relacionado com as propriedades inerciais de partículas de aerossol e é geralmente usado para descrever as partículas maiores do que aproximadamente 100 nm
Pulverulência	propensão de materiais para produzir poeira no ar durante a manipulação
Mobilidade	propensão para uma partícula de aerossol mover-se em resposta a uma influência externa, tais como um campo eletrostático, campo térmico ou por difusão
Diâmetro de Mobilidade	diâmetro de uma partícula esférica que tem a mesma mobilidade como a partícula sob consideração Nota: diâmetro de mobilidade é geralmente usado para descrever partículas menores que aproximadamente 500 nm e é independente da densidade da partícula
Área Superficial Ativa	Área superficial de uma partícula que está diretamente envolvida em interações com as moléculas de gás do seu entorno Nota: a área superficial ativa varia com o quadrado do diâmetro da partícula, quando as partículas são menores do que o percurso livre médio de gás (distância média em que as moléculas viajam entre colisões com outras moléculas no gás) e é proporcional ao diâmetro de partícula para partícula muito maior do que o percurso livre médio de gás
Área Superficial Específica	área superficial por unidade de massa de uma partícula ou material
Potencial Zeta	potencial eletrostático no plano de deslizamento (que marca a região onde as moléculas de líquido ao redor da partícula primeiro começam a se mover em relação a superfície) em relação o potencial na solução em massa Quanto maior o potencial zeta mais provável que a suspensão seja estável pois as partículas carregadas se repelem umas às outras e essa força supera a tendência natural à agregação

https://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles

Importância do Tamanho

- ✓ O **alumínio** em escala nano entra em combustão espontaneamente quando em contato com o oxigênio.
- ✓ Absorção de radiação solar em células fotovoltaicas é muito maior em nanopartículas do que em filmes finos formados por lâminas de material em escala maior. Como as nanopartículas são menores elas absorvem quantidade maior de radiação solar.
- ✓ O **ouro** muda de cor em função do tamanho de suas partículas. Muda até seu ponto de fusão. Em escala macro ele funde a **1064°C**, dividido em partículas de **5 nm** ele pode fundir a cerca de **830°C**, enquanto partículas de cerca de **2 nm** podem ficar líquidas a **350°C**.

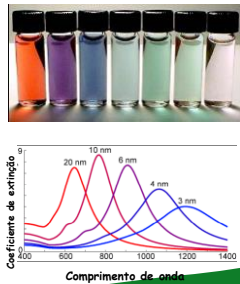
Ponto de Fusão do Ouro (Au)



Fonte: K.J. Klabunde, 2001

Importância do Tamanho

✓ Exemplo de variação de cor obtida em suspensões com nanopartículas de ouro de diferentes dimensões.



<http://divulgacao.dmc.fct.unl.pt/Nanosauade.pdf>

Além do Tamanho

Além do tamanho há vários outros aspectos que são importantes para a determinação das propriedades dos materiais em escala nano, especialmente com relação às nanopartículas:

- ✓ Tamanho e distribuição de tamanho; Forma;
- ✓ Estado de aglomeração; Biopersistência, durabilidade e solubilidade (em água e em gordura);
- ✓ Área superficial,
- ✓ Porosidade (pós porosos possuem área superficial muito maior do que os não porosos);
- ✓ Química da superfície, incluindo sua: composição, energia superficial, molhabilidade, carga, reatividade, espécies adsorvidas, contaminação. Possível modificação na cobertura da partícula também é citada por alguns autores
- ✓ Contaminantes ou traços de impurezas;
- ✓ Composição química, incluindo dispersão da composição;
- ✓ Propriedades físicas: tais como densidade, condutividade. Alguns artigos incluem: dureza, deformabilidade;
- ✓ Estrutura cristalina.

Fogo e explosão



Um dos fatores que contribuem para a facilidade de ignição e violência explosiva de uma nuvem de pó é o tamanho da partícula ou área superficial específica. Por tanto, a tendência geral é:

↓ Tamanho ↑ área específica ↑ facilidade de ignição e violência explosiva

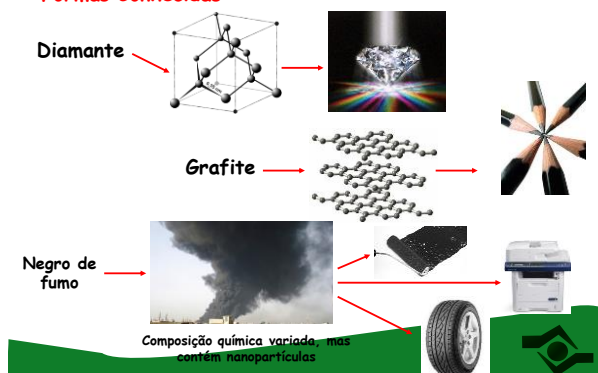
Fogo e explosão

Além disso:

- A habilidade dos nanomateriais se tornar eletrostaticamente carregado durante o transporte, manuseio e processamento é também um fator de um risco a ser considerado. Esta tendência de se carregar aumenta drasticamente com o aumento da área superficial do nanomaterial.
- Alguns nanomateriais podem iniciar reações catalíticas dependendo de suas composições e estruturas, o que não pode ser antecipado apenas com base em sua composição química

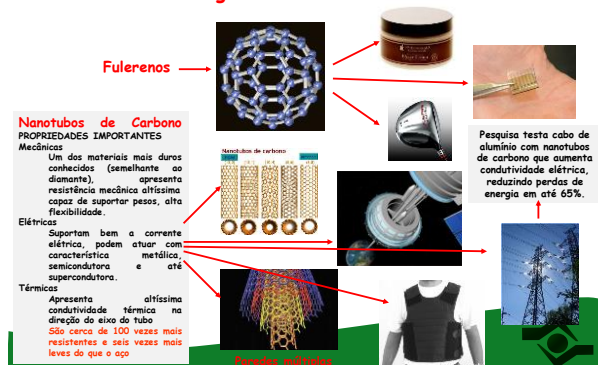
Exemplos do Carbono

✓ Formas Conhecidas



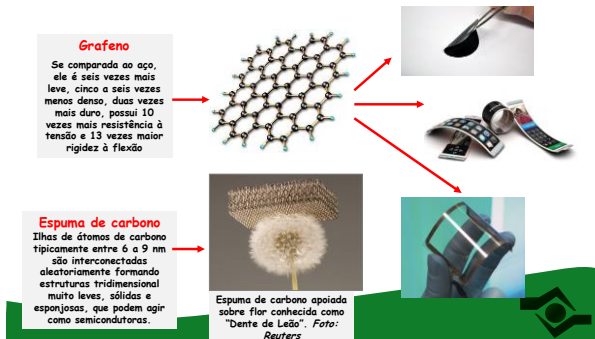
Exemplos do Carbono

✓ Nanomateriais engenheirados/manufaturados

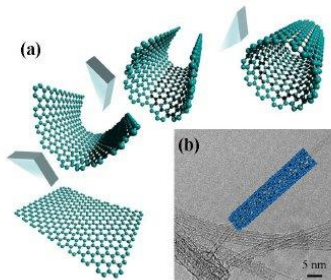


Exemplos do Carbono

✓ Nanomateriais engenheirados/manufaturados



Exemplos do Carbono



<http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=2619>

Produtos e serviços que já estão no mercado

Um levantamento sumário nas publicações que circulam sobre nanotecnologia aponta para os seguintes produtos e serviços que já estariam no mercado:

- Tecidos resistentes a manchas e que não amassam;
- Raquetes e bolas de tênis;
- Capeamento de vidros e aplicações anticorrosão a metais;
- Filtros de proteção solar;
- Material para proteção ("screening") contra raios ultravioleta;

- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Nanotecnologia>

Produtos e serviços que já estão no mercado – cont.

- Tratamento tópico de herpes e fungos;
- Nano-cola, capaz de unir qualquer material a um outro;
- Pó antibactéria;
- Diversas aplicações na medicina como cateteres, válvulas cardíacas, marca-passo, implantes ortopédicos;
- Produtos para limpar materiais tóxicos;
- Produtos cosméticos;
- Sistemas de filtração do ar e da água.
- Microprocessadores e equipamentos eletrônicos em geral.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Nanotecnologia>



Exemplos de Novos Materiais



Metamateriais

✓Um metamaterial é um material não encontrado na natureza, com propriedades especiais derivadas muito mais de sua estrutura do que de sua composição química. Criação de metamateriais depende diretamente do desenvolvimento da nanotecnologia.



<http://hypescience.com/18793-espelho-universal-reflete-todos-os-angulos>

<http://www.youtube.com/watch?v=YK6nY-RQwDg&feature=fvwp&NR=1>

<http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&v=PD83dqSfCOY&NR=1>



Nanoquímica

Os **filmes comestíveis** são produzidos à base de resíduos de frutas, verduras e legumes. (Foto: Embrapa)

Os filmes comestíveis são produzidos à base de **espinafre, beterraba, cenoura, tomate, mamão, goiaba e muitos outros como matéria-prima.**

O plástico comestível é feito basicamente de alimento desidratado **misturado** a um **nanomaterial** que tem a função de dar liga ao conjunto.



<http://cerradoeditora.com.br/cerrado/nanotecnologia-plastico-feito-de-frutas-e-verduras-sera-mostrado-em-feira-de-nanotecnologia/>



No Ramo Metalúrgico - Substituição



- ✓ Estrutura feita de nanotubos de carbono,
- ✓ pesa somente 1 Kilograma,
- ✓ 20 vezes mais forte do que as estruturas de aço.



Moinhos de vento com pás feitas através de nanotecnologia que são muito mais leves, fortes e duráveis.



Roupa de Soldado com Sistemas Integrados de Nanotecnologia

Comunicação pelo capacete

Barramento conectado a linha de transferência multi-canal de alta taxa de transferência

✓ Redes de sensores, atuadores mecânicos, reatores químicos, reservatórios de armazenamento ligados, controlados e recarregados por vários canais, fibras ócas que disponibiliza e recebe informações, fluidos, energia...



✓ Monitoramento psicológico
✓ Medicamentos, produtos para cicatrização de feridas
✓ Gerenciamento térmico
✓ Proteção balística, química biológica que for demandada
✓ Aprimoramento mecânico de desempenho

Circuito integrado de informações



Futuro!!

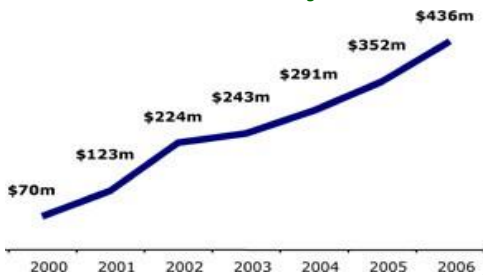
✓ Os futuros soldados americanos irão além da camuflagem para se tornarem verdadeiramente invisíveis.

<http://editinternational.com/read.php?id=47ddef2677dc4>



Investimento Militar em Nanotecnologia

O Departamento de Defesa norte americano gasta cerca de 30% de todo investimento federal em nanotecnologia

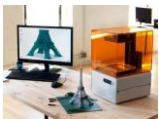


Military nanotechnology - how worried should we be?

<http://www.buzzle.com/articles/military-nanotechnology-how-worried-should-we-be.html>

Impressoras 3D

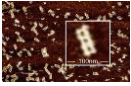
✓ Impressão 3D começou a ser desenvolvida nos Anos 80



Impressoras 3D

✓ Já atinge impressão na escala "nano"

Cientistas produzem novos medicamentos através de impressora 3D



<http://www.megacurioso.com.br/invencoes/34537-cientistas-produzem-novos-medicamentos-atraves-de-impressora-3d.htm>

Polímero biocompatível e que contém estruturas que promovem o crescimento do osso e das células



http://abertoatedemadrugada.com/2013/03/noticias-da-dia_8html



<http://inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=impressora-3d-nano-precisao>



Impressoras 3 D



Importância do Tamanho

✓ Desta forma:

Conhecer as características das substâncias em tamanho maior **não** fornece informações compreensíveis sobre suas propriedades no nível nano.



Importância do Tamanho

- ✓ Um material "seguro" para ser manuseado em tamanho maior, pode facilmente penetrar na pele na forma de nanopartícula ou se tornar um aerossol e **entrar no organismo via respiratória**.



Importância do Tamanho

- ✓ A maior reatividade devido a **grande área superficial** e aos **efeitos quânticos** que **alteram** as características físicas e químicas das nanopartículas, podem também provocar consequências não pretendidas (**e até desconhecidas**) quando tais partículas entram em contato com o organismo humano ou outros sistemas biológicos.



Nanotecnologia é Nova?

- Não

- ✓ A maioria dos avanços teóricos e tecnológicos na história da humanidade se desenrolou a partir de práticas empíricas de ensaio e erro. Isto também ocorreu com o desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia.
- ✓ Já estava presente na Idade Média, em que a cor dos vidros eram dependentes da resposta ao efeito do espalhamento da luz, sobre as nanopartículas de diferentes tamanhos dos aditivos metálicos a eles adicionados.



Nanotecnologia é Nova?

Os artesãos medievais, sem saber, tornaram-se nanotecnólogos durante o processo de fabricação dos vitrais que eram instalados nas janelas das igrejas. Durante a idade média (500 dC-1450 dC) estes artesãos usavam diferentes produtos químicos para dar colorido a seus trabalhos. A cor vermelha era dada pelas nanopartículas de ouro e a amarela pelas de prata (NSF, 2008).



http://www.exo.net/~pauld/Summer_institute/Nano%20Institute/Day%203/stainedglassclassroom_lessonplan.pdf



Nanotecnologia é nova?

- ✓ De acordo com Zhu Huai Yong, professor associado na Queensland University of Technology na Austrália, a pintura de ouro usada nos vitrais da era medieval purificam o ar quando aquecidos pela luz solar.

http://www.informationweek.com/news/personal_tech/virtualworlds/showArticle.jhtml?articleID=210200145



Nanotecnologia é Nova?

✓ Da mesma maneira, a indústria Romana do século IV aC utilizou-se desses sofisticados aditivos para a produção de um vidro multicolor. Com a junção de pó de ouro e prata ao vidro, o mesmo assumia uma coloração diversa de acordo com a reflexão da luz em contato com a superfície do vaso.



✓ No Museu Britânico de Londres há uma peça artesanal chamada "Taça de Licurgo" (Século IV dC) feita com a técnica denominada *cal-soda* que contém nanopartículas de prata e ouro e que muda de cor de um tom verde azulado a um tom vermelho profundo ao ser exposta a luz.

<http://www.monografias.com/trabajos57/nanotecnologia-salud/nanotecnologia-salud2.html>



- ✓ Além disso nanopartículas, por exemplo, ocorrem naturalmente no leite, na produção de maionese, na combustão de material orgânico, na queima do cigarro e até no cozimento.



Quando Começou o Interesse pela Escala Nano?

- ✓ Historicamente costuma ter seu marco inicial associado à palestra proferida em 1959 pelo físico americano **Richard Feynman**, intitulada "Há muito espaço lá em baixo".



- ✓ Nessa palestra, que é hoje considerada o momento definidor das nanociências e nanotecnologia como uma atividade científica, Feynman (que veio a receber o prêmio Nobel de Física em 1965, por suas contribuições ao avanço da teoria quântica) sugeriu que um dia o **homem conseguiria manipular objetos de dimensões atômicas e assim construir estruturas de dimensões nanométricas segundo seu livre arbítrio**.

Nanociências e nanotecnologia - Marcos A. Pimenta, Celsa P. Melo <http://www.ufsm.br/pgfisica/mc2.pdf>



Quando Começou o Interesse pela Escala Nano?

- ✓ As idéias de Feynman, porém, ficaram esquecidas por mais de 20 anos.
- ✓ Começaram a renascer nos anos 1980 por causa de **Eric Drexler**, então um jovem prodígio do MIT que resgatou, de um lado, a palavra "nanotecnologia", cunhada por um autor japonês, N. Taniguchi, em artigo de 1974; e de outro, a inspirada palestra de Feynman.
- ✓ Estas idéias faziam parte do livro de Drexler, **Engines of Creation** (Máquinas da Criação), de 1986, um ensaio sobre a possibilidade de se construir **máquinas moleculares**, e que elas poderiam se **autorreplicar** sem controle, formando a chamada **"meleca/gosma cinzenta"** (*gray goo*).



http://www.unesp.br/aci_ssz/revista_unesp-ciencia/ocervo/22/nanotecnologia-tamanho-real



Quando Começou o Interesse pela Escala Nano?

- ✓ O termo "nanotecnologia" foi desta forma popularizado por Drexler, que até por volta dos 2000 era fonte garantida em qualquer reportagem sobre o tema.
- ✓ O termo nanotecnologia criado em 1974 tinha inclusive outro significado. Foi sugerido para descrever a manufatura precisa de materiais com tolerâncias nanométricas.



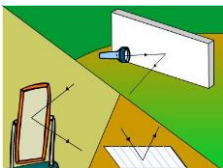
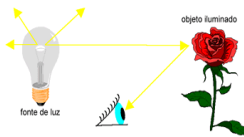
Quando Começou a ser Possível Conseguir Trabalhar na Escala Nano?

- ✓ Apesar de existirem, não era possível explicar o comportamento proveniente de materiais nanométricos.
- A resposta é simples:**
- ✓ A resolução do microscópio óptico, único disponível até pouco tempo atrás, não permitia a observação de objetos na escala nanométrica.

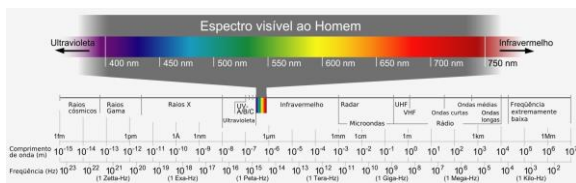


Quando Começou a ser Possível Conseguir Trabalhar na Escala Nano?

Só é possível a nós, seres humanos, ver objetos iluminados por luz visível



Quando Começou a ser Possível Conseguir Trabalhar na Escala Nano?



Na dimensão nano, a luz visível, em sua faixa de comprimento de onda característica (400 a 760 nm), já não pode ser usada para enxergar os objetos, pois as leis da Física limitam a resolução óptica à metade do comprimento de onda utilizado.

O que é Novo?

- ✓ A previsão de Feynman só foi possível ser realizada no início da década de 80, com o desenvolvimento por físicos europeus dos microscópios eletrônicos de varredura por sonda, dentre os quais hoje se incluem o microscópio de tunelamento e o microscópio de força atômica.

- ✓ Além da visualização nanométrica de uma superfície, eles permitem manipular átomos e moléculas, que podem ser arrastados de um ponto e depositados em outro ponto previamente selecionado.

O que é Novo?

- ✓ Estes novos equipamentos e o avanço da nanociência é que nos levaram a este momento.

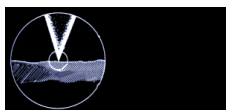
- ✓ O próprio termo nanotecnologia só foi criado em 1974 por N. Taniguchi para descrever a manufatura precisa de materiais com tolerâncias nanométricas





Microscópios de Varredura

✓ Atualmente, com os microscópios de varredura é possível obter uma imagem dos átomos na superfície de um material.



✓ O microscópio de varredura eletrônica (SEM, scanning electron microscope), o microscópio de varredura de força atômica (SFM, scanning force microscope) e o microscópio de varredura de tunelamento (STM, scanning tunnelling microscope) baseiam-se em princípios diferentes, mas possuem um significado comum. A superfície do material é percorrida com uma ponta ("tip") tão fina que termina em um átomo como mostra a figura.

http://www.qmc.ufsc.br/geral/sólidos_stm.html

Microscópios de Tunelamento

- ✓ Minúscula ponta feita de material condutor percorre - ou varre - toda a superfície da amostra a ser analisada.
- ✓ Com o microscópio de efeito túnel, passou-se a "enxergar" os átomos, antes jamais vistos, e, melhor ainda, conseguiu-se manipulá-los.
- ✓ O microscópio de efeito túnel só funciona com amostras de materiais condutores ou semicondutores; do contrário, não haveria passagem de corrente elétrica. Materiais isolantes, como vidro ou células vivas, são invisíveis.

Microscópio de Força Atômica (AFM, em inglês)

- ✓ Com uma ponta de um pequeno fragmento de diamante, que contorna os átomos da amostra exercendo uma pressão pequena o suficiente para não destruí-la. Conforme o fragmento de diamante se move quando encontra saliências, move-se também a ponta, criando-se então imagens como no outro tipo de microscópio.
- ✓ Surgiu em 1986. A agulha, ao aproximar a eletrosfera do seu último átomo das eletrosferas dos átomos da amostra, sofre a ação de forças de repulsão. A agulha está apoiada sobre uma alavanca onde há um espelho que reflete um feixe de laser, as variações do feixe refletido determinam os movimentos da agulha e consequentemente o relevo da amostra.

<http://www.xtimeline.com/evt/view.aspx?id=313613>