

Neucideia A. S. Colnago  
Yvonne P. Mascarenhas

# **NANO TECNO LOGIA**

Para Alunos do Ensino Médio  
e Público em Geral



Com o objetivo de introduzir temas da ciência e tecnologia no ensino médio de uma forma agradável e curiosa a intenção das autoras deste livro sobre Nanotecnologia foi a de prover aos docentes e alunos do ensino médio um texto com uma abordagem diferente, sob forma de diálogos entre um Professor e seus alunos, para o estabelecimento de alguns conceitos básicos sobre esse assunto.

A fim de mostrar que o conhecimento é, em geral, construído sobre descobertas anteriores legadas por outros pesquisadores, elas procuraram enfatizar sempre, tanto os experimentos e teorias que permitiram o gradual desenvolvimento dessa área de pesquisa científica e tecnológica, como introduzir algumas de suas aplicações já consagradas em muitos objetos em uso na vida atual, assim como a potencialidade de novas aplicações.

Neucideia A. S. Colnago  
Yvonne P. Mascarenhas

# NANOTECNOLOGIA

Para Alunos do Ensino Médio  
e Público em Geral

São Carlos – SP  
2016

© 2015 Neucideia A. S. Colnago e Yvonne P. Mascarenhas

Todos os direitos reservados.

Edição revista para publicação digital, 2016

**Capa e Diagramação**

Rosalis Designer - [www.rosalis.com.br](http://www.rosalis.com.br)

**Conferência das Provas Finais**

Yvonne P. Mascarenhas

**Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Informação IFSC/USP**

---

620.5 Colnago, Neucideia A. S.  
C 717n Nanotecnologia: para alunos do ensino médio e público em  
geral/ Neucideia A. S. Colnago; Yvonne P. Mascarenhas. – São Carlos:  
Instituto de Física de São Carlos, 2015.  
88p.

ISBN 978-85-61958-12-1

1.Nanotecnologia. 2. Ensino médio. I. Colnago, N. A. S. II.  
Mascarenhas, Y. P. III. Título.

---

# Prefácio

No universo do ensinar e aprender nada mais fascinante do que “boas conversas” entre professor e aluno. Quem ensina e quem aprende? Ambos. Quando a discussão é profícua e recheada de informações corretas, as ideias brotam das cabeças envolvidas, como numa mágica. O que move uma boa discussão é sempre a curiosidade, e ela deve ser despertada e estimulada junto aos jovens. Não só em sala de aula, mas em qualquer ambiente. Esse livro, que pretende divulgar conceitos de nanociência e nanotecnologia, vai além, e mostra como é simples o ato de ensinar e aprender. Uma boa e agradável conversação entre professores e alunos muitas vezes vale mais do que horas e horas de aulas do tipo “eu ensino e você aprende”. A profa. Yvonne P. Mascarenhas e a Psicóloga Dra. Neucideia A. S. Colnago mostram com maestria que uma boa discussão é a chave mestra do aprendizado, não importando qual seja a área do conhecimento.

Ao longo desse livro, vários temas conceituais e aplicados sobre nanociência e nanotecnologia são introduzidos de forma simples e cativante. Os encontros de Pedro e Vitória com o professor ocorrem num ambiente de simpatia e camaradagem e são recheados de conversas inteligentes e objetivas. As conversas enveredam-se por assuntos desde “o que vemos a olho nu” até sobre dispositivos nanométricos construídos pelo homem. O livro não se furta de tratar de temas relacionados a aplicações importantes de nanodispositivos, mesmo aqueles que ainda estão em fase de pesquisa. As conversas abordam também questões conceituais e atuais sobre nanociências e descrevem equipamentos modernos; equipamentos que permitem aos cientistas explorar o mundo atômico e molecular. É fascinante também a simplicidade com que são discutidas as aplicações de dispositivos nanométricos em áreas como as de medicina, da agricultura, do meio ambiente, entre outras.

A leitura fluida e agradável desse livro traz uma contribuição inestimável à divulgação das pesquisas atuais do mundo nanométrico e também de suas aplicações. É, portanto, uma leitura recomendável a qualquer cidadão ou cidadã que queira se informar sobre os progressos da ciência, sobretudo aos alunos e professores do Ensino Fundamental e Médio.

Roberto Mendonça Faria.  
São Carlos, agosto de 2015

# Agradecimentos

*Em especial ao Dr. Daniel Souza Correa, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, especialista em Nanotecnologia, pelas sugestões e contribuições.*

*Ao Dr. Luiz Alberto Colnago, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, pelas sugestões de melhoria do texto.*

*Ao Instituto de Estudos Avançados – IEA/USP /São Carlos pelo apoio à Dra. Neucideia Colnago como Pesquisadora Visitante.*

*À CAPES – pelos recursos fornecidos ao Projeto NanoBioMed–AUX-PE-NANOBIOTEC, contrato nº 7005/2009. “Avanços, Benefícios e Riscos da Nanotecnologia Aplicada à Saúde”.*

*Ao CNPq e à FAPESP, pelos recursos fornecidos ao projeto “Instituto Nacional de Eletrônica Orgânica (INEO)”, respectivamente processos nº 573762/2008-2 e nº 2008/57706-4.*

*À FAPESP, Proc. 2013/51123-2, que possibilita as atividades realizadas na Interação com Escolas Públicas através da Agência de Difusão Científica Ciência Web do Polo do IEA do Campus de São Carlos/USP.*

## SUMÁRIO

	<b>O despertar da curiosidade</b> .....	7
<b>1ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> O que é Nanociência e Nanotecnologia .....	9
<b>2ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> O que vemos a olho nu? .....	12
<b>3ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Como ver objetos microscópicos. ....	14
<b>4ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Como podemos ver e medir os objetos nanométricos. ...	23
<b>5ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> O Microscópio Eletrônico.....	27
<b>6ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Nanociência e Nanotecnologia.....	33
<b>7ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Como são produzidos os nanomateriais e dispositivos com componentes nanométricos.....	43
<b>8ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Aplicações das Nanopartículas - Microeletrônica .....	49
<b>9ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Nanoeletrônica.....	56
<b>10ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Obtenção das Nanopartículas .....	64
<b>11ª</b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Laboratórios de pesquisa em nanotecnologia no Brasil e no exterior.....	67



<b>12<sup>a</sup></b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Aplicações da Nanotecnologia à Medicina e à Saúde. ....	73
<b>13<sup>a</sup></b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Visitas ao Instituto de Física de São Carlos IFSC/USP e na Embrapa Instrumentação/São Carlos. ....	76
<b>14<sup>a</sup></b>	<b>Conversa com o Professor:</b> Nano toxicidade .....	80
	REFERÊNCIAS .....	86





# O despertar da curiosidade

Pedro, aluno do ensino médio encontrou na seção de ciência de um jornal, uma reportagem em que se dizia que a Nanociência era a ciência do futuro e que as suas aplicações já estão afetando o nosso modo de vida, com medicamentos inteligentes, materiais mecanicamente mais resistentes e com novas propriedades físicas e químicas. O artigo despertou tanto sua curiosidade que ele resolveu procurar seu professor de física e pedir mais informações.

Depois da aula procurou o professor de física em sua sala, onde o encontrou muito ocupado preparando uma aula. Na sala do professor havia uma mesa de trabalho grande e livros em uma estante. Mas, havia ainda, um laptop com um bom monitor e uma impressora, instrumentos indispensáveis para seu trabalho que exigia também uma boa conexão com a internet.

Pedro bate então na porta da sala e pede para entrar:

- Posso entrar, Professor? Eu gostaria de pedir algumas informações sobre um artigo que li num jornal.

- E qual era o assunto do artigo? - Pergunta o professor -.

- Era sobre nanotecnologia e nanociência e fiquei muito interessado porque, pelo que entendi, é uma nova abordagem científica e tecnológica que, como dizia o artigo, está modificando muitos aspectos científicos e mesmo industriais levando a novas ideias e produtos em muitas áreas de interesse geral.

- É bem verdade, Pedro. Fico feliz que você me procure para saber de um assunto que não está diretamente ligado à nossa disciplina da escola, mas que é de grande interesse atual. Sem dúvida terei muito prazer em conversarmos sobre esse tema. Podemos marcar um primeiro encontro para amanhã, depois das aulas?

- Claro, professor e desde já agradeço muito sua disposição em me esclarecer. Então até amanhã.

# 1ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: O que é Nanociência e Nanotecnologia

No dia seguinte Pedro, logo após as aulas, dirigiu-se novamente para a sala do professor para conversar sobre Nanociência e Nanotecnologia, que lhe perguntou:

- O que você quer saber sobre esse assunto?
- Eu gostaria de saber mais detalhes sobre nanociência e nanotecnologia.

- OK: para você entender o que é Nanociência e Nanotecnologia vamos recordar alguns conceitos básicos de física que você já sabe, como o conceito de *comprimento* e suas *medidas*. Qual é a unidade fundamental de comprimento? E qual o seu símbolo?

- O metro professor e o símbolo é m.
- Então, qual é o comprimento desta sala de aula?
- Não sei professor, mas podemos medir. Tem uma fita métrica?
- Sim...- e entregou a fita métrica a Pedro, que depois de medir o comprimento da sala concluiu -

- Ela tem 5 m de comprimento entre duas das paredes.
- OK.
- Qual a distância daqui até sua casa?
- Meu pai falou que são 5 quilômetros (Km).
- Porque você não falou em metros?
- Não sei...
- É porque se fosse em metros a distância seria de 5 mil metros (5000 m), que é um número com muito mais algarismos ou dígitos. Por isso, usamos os prefixos que são múltiplos decimais, como por

exemplo o quilo ( $K = 1000$  vezes), Mega ( $M = 1.000.000$  vezes) e assim por diante. Nós normalmente usamos o metro e seus múltiplos para medir coisas grandes como animais, árvores, casas, edifícios, distância entre cidades e muitas outras coisas. Esses objetos/coisas são *macroscópicos*.

- Ah! Agora me lembrei, já havia aprendido sobre isso na aula de Matemática e também que, para os objetos menores que 1 m, nós temos os seus submúltiplos como: o decímetro ( $dm = 1/10$  do metro), o centímetro ( $cm = 1/100$  do metro) e o milímetro ( $mm = 1/1000$  do metro), ou seja, um décimo, um centésimo e um milésimo do metro, respectivamente.

- Já para medidas inferiores a 1 mm usamos – continua o professor – os prefixos, o micro ( $\mu m$ ) que é 1000 vezes menor do que 1 mm (ou seja, um milhão de vezes menor que 1 m), o nanômetro (nm) que é um milhão de vezes menor do que 1 mm (ou um bilhão de vezes menor do que 1 m). Essas subunidades são usadas para medida de objetos muito pequenos, portanto, com dimensões sub-microscópicas.

- Porque tudo isso, professor?

- Pedro, imagina se você tivesse que dizer o diâmetro de um vírus em metro. Ele tem 0,0000001 m. Sabe falar esse número?

- Não sei.

- E, se você tivesse que dizer em  $\mu m$ ?

- Seria multiplicar esse número por um milhão, certo?

- Sim, isso mesmo, 1  $\mu m$  é um milhão de vezes menor do que um metro.

- OK, então, ele teria 0,1  $\mu m$ ?

- Sim, isso mesmo. E em nm?

- Seria multiplicar por um bilhão. Fiz a conta e vi que seria 100 nm.

- Isso mesmo. Está indo muito bem.
- Agora, qual a melhor maneira para falar do comprimento de um vírus: 0,0000001 m ou 100 nm?
- 100 nm é claro!
- Você está entendendo mesmo Pedro. – o professor abre seu laptop e sugere: – Pedro, veja aqui na tela do meu laptop uma tabela com os submúltiplos do metro. É bom você fazer uma cópia para usar quando precisar. – E conclui:

Unidade Fundamental	Submúltiplos				
metro	centímetro	decímetro	milímetro	micrômetro	nanômetro
(m)	(cm)	(dm)	(mm)	(mm)	(nm)
1 m	0,1 m	0,01 m	0,001 m	0,000001 m	0,000000001 m
			1 mm	0,001 mm	0,000001 mm

- Hoje você já aprendeu ou recordou qual é a unidade fundamental de comprimento, seus múltiplos e submúltiplos. Dê uma estudada nessas unidades para você decorar e podermos conversar melhor na próxima vez.

## 2ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: O que vemos a olho nu?

Alguns dias depois, Pedro foi procurar o professor para aprender como conseguimos ver os objetos microscópicos. O professor dá início à conversa com uma pergunta:

– Pedro, você acha que podemos ver nitidamente os objetos se eles estiverem a qualquer distância do nosso olho?

– Não sei- responde Pedro.

– Então, para descobrir a resposta a essa pergunta estique seu braço e dobre a mão para cima. Você consegue enxergar seus dedos?

– Sim, claro professor!

– Então, encolha seu braço um pouco. Você enxerga seus dedos?

– Claro! Vejo meus dedos com mais nitidez e também noto que o tamanho da imagem aumenta quando aproximo o objeto do meu olho.

– Bela observação, Pedro! Agora leve sua mão para mais próximo de um de seus olhos.

– Nossa! Bem perto do olho não consigo enxergar direito. O dedo parece maior, mas estou vendo embaçado.

– Sim, quando qualquer objeto está a apenas alguns centímetros do seu olho, o cristalino (que é uma lente) gera uma imagem embaçada ou desfocada. Isso porque tem uma distância mínima na qual conseguimos observar um objeto focado e é conhecida como o **Ponto Próximo (PP)** ou distância focal do cristalino. Ou seja, nosso olho só gera uma imagem nítida (focada) se a distância entre o cristalino do nosso olho e o objeto for maior do que o PP. Essa distância

varia de pessoa para pessoa e pode ficar cada vez maior com a idade. Por isso é comum precisarmos de óculos (lentes) para corrigir esse aumento da distância do PP.

– Professor, e qual é o tamanho do menor objeto que conseguimos enxergar a olho nu?

– Nós conseguimos enxergar a espessura de uma folha de papel, que tem cerca de 0,05 mm ou 50  $\mu\text{m}$  de espessura. Esse valor está bem perto do limite de nossa visão que é de cerca 40  $\mu\text{m}$ . Assim é interessante lembrar o que é **dimensão**. Os objetos na natureza normalmente têm três dimensões (são tridimensionais ou 3D). Entretanto, podemos imaginar objetos com uma única dimensão macroscópica, semelhantes a uma linha, com raio muito pequeno, com duas dimensões macroscópicas correspondendo a membranas de mínima espessura e objetos com suas três dimensões macroscópicas. Mas voltaremos a esse assunto em nossa próxima conversa, se você continuar interessado.

### 3ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Como ver objetos microscópicos.

Em novo encontro o professor vai diretamente ao assunto:

– Então, você lembra das nossas conversas anteriores, que os objetos grandes que conseguimos ver ao olho nu, chamamos de objetos *macroscópicos*. Os objetos que não conseguimos ver chamamos de objetos *microscópicos*, ou seja objetos com menos de  $40\ \mu\text{m}$  ao longo de pelo menos uma de suas dimensões.

– E como foi possível ver os objetos microscópicos?

– Essa é uma longa história.... Para ver esses objetos os cientistas desenvolveram há muito tempo as lentes que combinadas adequadamente deram origem às lupas e aos microscópios.

– Professor, como funcionam esses instrumentos?

– Para entender como são e como funcionam as lentes e microscópios teremos que entender um fenômeno físico muito importante: a REFRAÇÃO da luz nos diferentes meios. Então, vamos ver como podemos usar esse fenômeno para enxergar coisas que não conseguimos ver a olho nu.

#### Refração e o funcionamento da lupa e do microscópio.

– Pedro, você se lembra como conseguimos facilmente demonstrar o fenômeno de refração?



- Lembro sim: foi no experimento que o senhor fez colocando um lápis num copo transparente com água. O senhor deixou até nós tirarmos fotos do experimento para mostrar lá em casa. Eu ainda tenho uma foto do lápis dentro de um copo d'água aqui no meu celular. Quer ver?

- Claro, me mostre.



Figura 1. Foto de um lápis dentro de um copo d'água para mostrar o Fenômeno de Refração

Fonte: Elaborada pelas autoras.

- Veja, professor, na foto, o lápis parece que está quebrado por causa da refração que é o fenômeno físico pelo qual a luz muda sua direção de propagação ao passar de um meio para outro, como por exemplo, da água para o ar, do ar para o vidro, etc., mas como podemos usar a refração para vermos coisas invisíveis a olho nu?

- Com as lentes de aumento. As lentes são objetos transparentes que apresentam duas superfícies refrativas. Uma entre o ar e a lente (na entrada) e outra entre a lente e o ar (na saída). Suas superfícies podem ter várias formas tais como esférica ou cilíndrica e podem ser côncavas ou convexas. As lentes côncavas são convergentes e são usadas há muito tempo para ampliar os objetos e são chamadas lupa

ou microscópio simples. Você se lembra que viu a imagem do seu dedo ir crescendo quando você o aproximava de seu olho até que ela ficou fora de foco?



Figura 2. Lupa  
Fonte: Elaborada pelas autoras.

- Sim, professor.
- Para fazermos com que esta imagem fique nítida, mesmo com uma distância menor do que PP, usamos uma lente convergente (lupa) entre o olho e o dedo. (Seu dedo tem que ficar a uma distância menor do que o ponto focal da lente). Com isso, nós enxergamos as coisas ampliadas e nítidas (em foco) mesmo com uma distância menor do que o PP. Apesar dessa ampliação, a lupa não serve para a observação de objetos muito pequenos como células e bactérias. Para isso, os cientistas construíram o microscópio composto (ou simplesmente microscópio), que usa duas ou mais lentes convergentes para ampliar a imagem dos objetos muito pequenos.

## Microscópio

- Você já viu um microscópio, Pedro?
- Sim, nas aulas de Biologia. Ele serve para observar células ou seres muito pequenos. Parece que foi uma grande invenção.
- Exatamente, foi uma grande invenção, feita no século XVI, por dois holandeses fabricantes de óculos, o senhor Hans Jansen e seu filho Zacharias, no ano de 1590. - O professor reabre seu laptop e

indica novas ilustrações que mostram um retrato de Zacharias Jansen e seu microscópio: - e prossegue - O microscópio tem uma lente perto do objeto que se quer ampliar. Essa lente é chamada objetiva e concentra a imagem real do objeto no interior do microscópio. Essa imagem é aumentada por uma lente ou um grupo de lentes que fica perto do olho do observador. Essa lente é chamada ocular. A ocular produz uma imagem ampliada do objeto. Com o microscópio, podemos observar células vegetais e animais, micro-organismos, glóbulos vermelhos do sangue... aquele “mundo” que nossos olhos não podem ver. - Cada vez mais, o professor aguçava a curiosidade de Pedro, que envolvido pelas explicações fazia mais perguntas.



Figura 3a



Figura 3b

Figura 3. a) Gravura do inventor do microscópio composto Zacharias Jansen. b) foto do primeiro microscópio composto.

Fonte: ZACHARIAS Jansen (1590).

- Qual é o menor tamanho dos objetos que conseguimos ver com o microscópio?
- Para isso temos de conhecer duas características do microscópio. O poder de aumento e o poder de resolução. Um microscópio ótico tem uma ampliação máxima de cerca de mil vezes (1000X).
- E o que são os poderes de aumento e de resolução.

– O poder de resolução de uma lente é a menor distância entre dois objetos em que ainda esses dois objetos podem ser visualizados separadamente. Se estiverem abaixo dessa distancia eles são vistos superpostos. Para você entender o que é resolução de uma lente ou de um microscópio ótico veja esta ilustração na tela de meu laptop.



Figura 4a



Figura 4b



Figura 4c

Figura 4. a) Dois círculos separados (distância entre eles maior que o poder de resolução). b) dois círculos parcialmente superpostos (distância entre eles um pouco menor que o poder de resolução). c) completamente superpostos em um único círculo (distancia bem menor que o poder de resolução).

Fonte: Elaborada pelas autoras.

– Professor, porque agora o senhor chamou o microscópio de microscópio ótico?

– Pedro, você está mesmo ligado! Sim, preciso chamar o microscópio de microscópio ótico, pois o poder de resolução de um microscópio está ligado com o tipo de luz usada.

– Como assim?

– A luz visível é formada por um conjunto de ondas eletromagnéticas que tem um comprimento de onda de 400 a 700 nm (nanômetros). Os cientistas representam o comprimento de onda pela letra grega lambda ( $\lambda$ ). O comprimento de onda ou  $\lambda$  é a distância entre dois picos da onda ou dois vales sucessivos. Veja a ilustração no meu laptop.

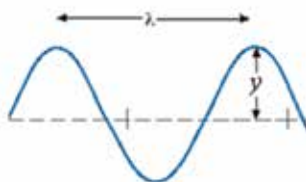


Figura 5. Esquema de uma onda mostrando o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a amplitude ( $y$ )

Fonte: Elaborada pelas autoras.

- O que é o ‘y’ nesta figura, professor?
- É a amplitude da onda. Quanto maior for y, maior será a intensidade da luz. O entendimento da natureza da luz foi sempre objeto de discussão entre os mais renomados cientistas. Por ora estaremos usando em nosso estudo a teoria ondulatória eletromagnética da luz.
- Professor, já ouvi falar na aula de física que a luz branca do Sol é composta de muitos comprimentos de onda e que isso é que forma o arco-íris.
- É verdade, Pedro, mas onde podemos ver facilmente a separação dos componentes da luz do Sol é usando um prisma com o qual o nosso olho consegue ver as diferentes cores que compõem a luz branca. A luz violeta, de 700nm, é a que tem o menor comprimento. Veja o espectro da luz branca aqui na tela do meu laptop.



Figura 6. Foto de um prisma mostrando a separação da luz branca em seus componentes.

Fonte: SANTOS, M.A.

Veja, Pedro, alguns exemplos de imagens obtidas com um microscópio ótico.



Figura 7a

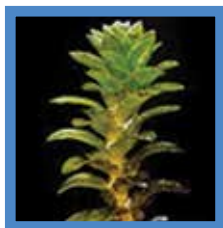


Figura 7b

Figura 7. a) Imagem de células de folhas de Elódia (planta ao lado, usada em aquário) ampliada em 100 vezes (100X). Os contornos escuros, quase retangulares, são os limites das células e os círculos verdes dentro de cada célula são os cloroplastos, organela que contém a clorofila. As células vegetais têm de 10 a 100  $\mu\text{m}$ . b) Foto de um galho de elódia.

Fonte: CELULAS...

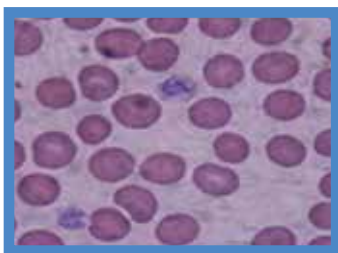


Figura 8a

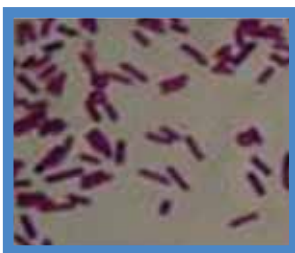


Figura 8b

Figura 8. a) Imagens microscópicas de células sanguíneas com cerca de 20  $\mu\text{m}$  de diâmetro e b) Imagens microscópicas de bactérias com cerca de 2  $\mu\text{m}$  de comprimento.

Fonte: CELULAS...

– Para você entender melhor o que é poder de aumento e limite de resolução eu tenho que usar um pouco de Física e de Matemática. Pode ser?

– Claro, professor! Eu sei que o melhor entendimento dos fenômenos naturais exige essa abordagem.

- O poder de resolução (PR) de um microscópio depende de dois fatores: do comprimento de onda ( $\lambda$ ) da luz utilizada e da abertura numérica, NA da lente objetiva, Matematicamente:

$$NA = n \sin \Theta$$

Onde  $n$  é o índice de refração do material da lente objetiva e, como se vê na Figura 9,  $\Theta$  é o semiângulo de abertura do feixe de luz que alcança a lente objetiva.

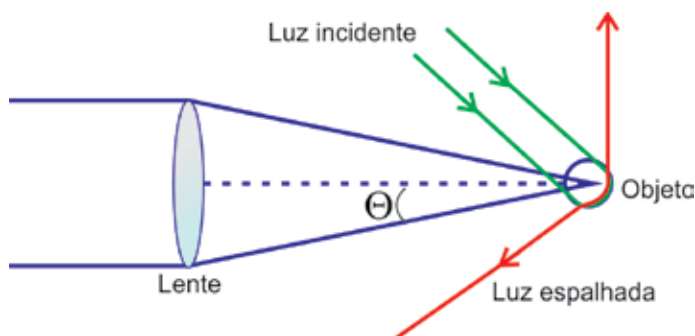


Figura 9 Resolução ótica de uma lente.  
Fonte: Elaborada pelas autoras.

O poder de resolução (PR) é a razão entre a abertura numérica da lente (AN) e o comprimento de onda vezes 0,61. – O professor toma seu caderno e caneta e mostra a Pedro a seguinte equação que relaciona, em linguagem matemática, o que acabou de explicar em português

- $PR = AN / 0,61 \times \lambda$
- E, como vimos
- $AN = n \sin \Theta$
- E, substituindo na expressão acima,
- $PR = n \times \sin \Theta / 0,61 \times \lambda$

Ou seja, o poder de resolução de um microscópio ótico está limitado pela abertura numérica, que é proporcional ao diâmetro da lente e ao comprimento de onda  $\lambda$  da componente da luz visível utilizada e que está entre 400 e 700 nm. Quando se usa a luz branca toma-se um valor médio do comprimento de onda.

– Então professor, se o microscópio ótico só nos permite enxergar objetos pouco abaixo de 1  $\mu\text{m}$ , como podemos ver os nanomateriais, que podem ser mil vezes menores?

– Você observou muito bem. Sem dúvida é necessária outra abordagem. Mas hoje já vimos e revisamos muitas coisas... – diz o professor – podemos continuar a nossa conversa em outro dia se você quiser.

– Claro que quero! Pode ser amanhã?

– Ok! Então até amanhã na mesma hora.



## 4ª. CONVERSA COM O PROFESSOR

### Como podemos ver e medir os objetos nanométricos.

No dia seguinte lá estava Pedro com sua amiga de classe Vitória esperando o Professor e a apresenta:

- Professor, esta é minha colega Vitória. Eu contei para ela sobre a nossa conversa de ontem e ela pediu para também participar de nossos encontros. Pode ser?

- Claro, responde o professor, quanto mais jovens se interessarem pela ciência melhor para o nosso país! - Concorde muito feliz o professor e prossegue - Então, Pedro e Vitória, nós vimos que o microscópio ótico não consegue ampliar os objetos com tamanho de alguns nanômetros, que são os materiais desenvolvidos pela nanociência ou nanotecnologia.

- Bem, Professor, mas os cientistas devem ter descoberto algum jeito para fazer isso, não é?

- Sim, com o microscópio eletrônico. Mas não foi nada fácil inventar o microscópio eletrônico. Foi necessário o desenvolvimento de muita ciência básica.

- Mas como esse tal de microscópio eletrônico consegue fazer isso? O senhor poderia explicar?

- Claro, mas para tanto é interessante voltarmos ao espectro eletromagnético. - Pedro comenta intrigado: -

- Depois de nossa conversa procurei conhecer um pouco mais sobre o espectro das radiações eletromagnéticas e até comentei com a Vitória que os textos falam sobre ondas de rádio, microondas, raios X, luz ultravioleta, mas não entendi o que isso tem a ver com o microscópio eletrônico.

– Você já sabe que o poder de resolução de um microscópio aumenta quando se diminui o comprimento da onda ( $\lambda$ ) da radiação eletromagnética que vemos. Então, você viu na sua pesquisa que a luz visível compreende apenas uma pequena região do espectro das ondas eletromagnéticas, não é?

– Sim, responde Pedro, na natureza tem ondas eletromagnéticas com  $\lambda$  entre centenas de metros e sub nanométricas. Isso está nesta ilustração que encontrei na internet: No lado esquerdo da faixa da luz visível estão as ondas eletromagnéticas com maiores  $\lambda$  do que o vermelho, que já vimos que tem cerca de 700 nm. Nesta região estão a radiação infravermelho, as micro-ondas e as ondas de rádio. Do outro lado da faixa da luz visível, acima do violeta (400 nm), estão as radiações com  $\lambda$  curto como a radiação ultravioleta (UV), o raio X e o raio gama. Mas não entendi porque nos  $\lambda$  abaixo do violeta, estão as radiações ionizantes, consideradas perigosas, como os raios ultravioleta e os raios X.

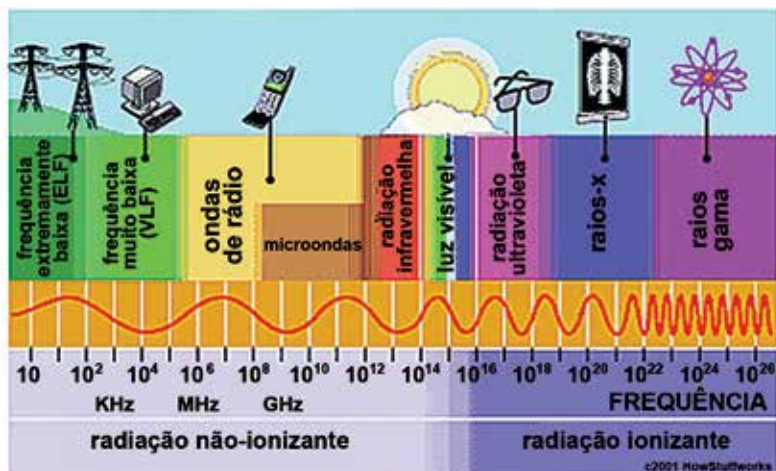


Figura 10. Espectro de ondas eletromagnéticas

Fonte: ESPECTRO...

- Nossa, você está muito sabido! E você Vitória está entendendo?  
 - Sim, professor. - E, Pedro continua...-  
 - É que na pesquisa que fiz, vi que as ondas eletromagnéticas abaixo do vermelho são menos prejudiciais a saúde. É assim mesmo, professor?

- De fato as ondas de um modo geral transportam energia e no caso das radiações acima do violeta elas tem alta energia e conseguem romper as ligações químicas das moléculas do nosso corpo, como o DNA. Por isso elas são chamadas de radiações ionizantes. Se a radiação ionizante quebrar uma ligação da molécula de DNA de uma célula do nosso corpo, esta célula pode sofrer uma mutação e causar problemas de saúde. Mas isso é outra coisa, que não podemos discutir agora. Vocês vão aprender sobre isso em biologia. Agora vamos nos deter sobre algumas características das ondas. Vocês sabem o que é frequência?

- Mais ou menos, responde Vitória. Entendo que a frequência  $f$  de uma onda é o número de ciclos da onda por segundo.

- Isso mesmo! E pode ser calculada dividindo a velocidade da luz (de aproximadamente 300 milhões de metros por segundo) pelo comprimento de onda ( $\lambda$ ) da radiação. Matematicamente falamos que:

$$f = c/\lambda$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz. - e ainda acrescenta o professor:  
 - A unidade de frequência é dada em Hertz (Hz) onde  $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$  e também podemos dizer que o comprimento de onda é igual a velocidade da luz dividida pela frequência:

$$\lambda = c/f$$

– Professor, só para eu ver melhor, a rádio que eu mais ouço está na frequência de 100 MHz e assim posso calcular seu comprimento de onda pela equação  $\lambda = c/f$  e, portanto, ele é de  $300.000.000 / 100.000.000$  igual a 3 m. – Vitória se admira com o resultado e exclama-

– Nossa, que grande, mal cabe no comprimento desta sala!

– Sim, – continua o professor – mas as ondas usadas nas rádios AM são bem maiores, ou seja, são de mais baixa frequência. Uma rádio AM de 100 KHz tem um  $\lambda$  de 3 Km. Por isso, essas rádios são chamadas de rádios de ondas longas.

– Nossa, professor. Não estamos saindo muito do nosso assunto de hoje: o que é o microscópio eletrônico (ME)?

– Não. É que para entender o funcionamento do ME temos de saber o que é frequência, comprimento de onda e que quanto maior a frequência de radiação maior é energia.

Estes são conceitos muito importantes que exploraremos para entender como funciona o microscópio eletrônico. Veremos isso em um próximo encontro, pois já tenho que entrar em aula.

– Então voltaremos aqui em dois dias e na mesma hora? – Pergunta Vitória.

– Certo! – Responde o professor.

## 5ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: O Microscópio Eletrônico.

Em dois dias, no horário marcado, lá estão Pedro e Vitória para continuarem suas conversas com o professor que logo entra no assunto:

– Preparem-se, pois agora vamos falar de assunto que não é abordado no ensino de física do segundo grau. A existência do microscópio eletrônico só foi possível depois que surgiram, no início do século XX, as primeiras ideias de um novo tipo de Física denominado Física Quântica, que descreve o comportamento de partículas muito pequenas, as chamadas partículas elementares como o elétron, o próton e o nêutron e ampliada em 1926, quando o físico francês Louis de Broglie apresentou o princípio da dualidade Onda-Partícula. Segundo esse princípio, toda partícula de massa  $m$  e velocidade  $v$  tem associada a ela uma onda cujo comprimento de onda é dado por:

$$\lambda = h / m v$$

Onde  $h$  é a constante de Planck (outro grande físico alemão que descobriu a quantização da energia),  $m$  a massa da partícula e  $v$  a sua velocidade. Esta ideia revolucionária foi confirmada experimentalmente em 1928 por C.J. Davisson e L. Germer nos Estados Unidos que verificaram a propriedade ondulatória de elétrons ao atravessarem uma folha fina de ouro.

Além disso, no início do século XX, Albert Einstein descobriu que a massa de um objeto em repouso é diferente da massa

do mesmo objeto em movimento e é função de sua velocidade de acordo com sua famosa fórmula:

$$m = m_o / \sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{c^2}\right)} \Rightarrow m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}$$

Onde  $m_o$  é a massa da partícula em repouso,  $m$  a massa da partícula com velocidade  $v$  e  $c$  é a velocidade da luz = 300.000 km/segundo. Por esta equação podemos deduzir que quanto maior a velocidade da partícula maior é sua massa em movimento, pois a razão  $v^2/c^2$  aumenta. Na velocidade da luz essa razão fica igual a 1 e a massa da partícula se torna infinita.

**Assim, quando aceleramos um elétron através de uma alta diferença de potencial (ou alta voltagem), o produto da sua massa pela velocidade aumenta muito e, de acordo com a equação de Broglie ( $\lambda = h/mv$ ), o seu comprimento de onda diminui muito.**

Esta notável descoberta permitiu que o físico alemão Ernst Ruska inventasse o microscópio eletrônico. Para isso construiu um dispositivo que permitia acelerar elétrons a uma velocidade tão grande que seu  $\lambda$  atingia valores tão pequenos, que o poder de resolução correspondente permitia gerar imagens de objeto com dimensões nanométrica. – O professor então salienta – **Portanto, a diferença básica entre um microscópio ótico e um microscópio eletrônico é que neste último não se usa luz, mas sim feixes de elétrons de alta velocidade.**

Vejam aqui, Pedro e Vitória, na Figura 11 um esquema de um microscópio ótico e de um microscópio eletrônico, onde no último, as lentes são constituídas por dispositivos eletromagnéticos.

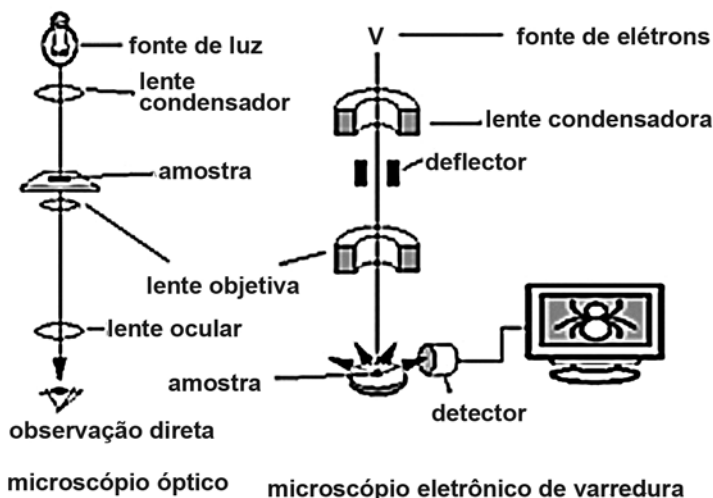


Figura 11. Diagrama em blocos de um microscópio óptico e de um eletrônico.

Fonte: DEDAVID...



Figura 12a



Figura 12b

Figuras 12. a) Foto de um microscópio eletrônico existente na Embrapa Instrumentação, São Carlos; b) Foto do cientista Ernst Ruska, inventor do microscópio eletrônico.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

O microscópio eletrônico tem sido aperfeiçoado desde então atingindo, em muitos equipamentos, a resolução atômica (visualização de átomos individuais), dimensão essa da ordem de 0,1 nm ou 1 Angstrom ( $1,0\text{\AA}$ ). Vejam algumas imagens obtidas em um microscópio eletrônico.

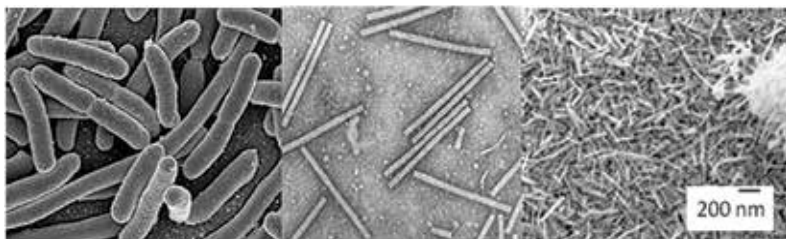


Figura 13a

Figura 13b

Figura 13c

Figura 13 - Fotomicrografias obtidas com microscópio eletrônico de varredura (MEV). a) bactérias com cerca de... b) vírus.... c) nanobasto

Fonte: FOTOMICROGRAFIAS...

– Nossa, agora faço uma ideia de como e porque o ME é o aparelho que permite ver as nanoestruturas. – Diz Vitória, muito impressionada.

– Sim, – acrescenta o professor – mas não é o único. Mais recentemente foram inventados outros instrumentos que também permitem grande resolução em nível nanométrico, tais como o microscópio de força atômica e o microscópio de tunelamento.

– E como funcionam esses outros microscópios? – Pergunta Vitória.

– Os microscópios de tunelamento e força atômica tem um princípio de funcionamento muito diferente daquele usado nos microscópios óticos ou eletrônicos. Nestes microscópios as imagens são geradas pela interação entre a ponta de uma agulha muito fina e a superfície da amostra que se está estudando. Ou seja, a agulha



sobe ou desce de acordo com a rugosidade da amostra. Isto é, a agulha desce, quando tem buraco e sobe quando encontra as superfícies mais altas da amostra. A resolução atômica nesses microscópios só é obtida com amostras extremamente planas como a superfície da mica, cuja rugosidade é devida aos átomos, daí sua resolução atômica. A figura 14 mostra uma imagem (10 x 10 nm) da superfície da mica obtida com um microscópio de força atômica. A mica é um silicato de potássio com estrutura em folhas paralelas facilmente destacáveis, o que permite obter amostras bem finas e lisas. As pequenas esferas observadas são atribuídas aos átomos de potássio.

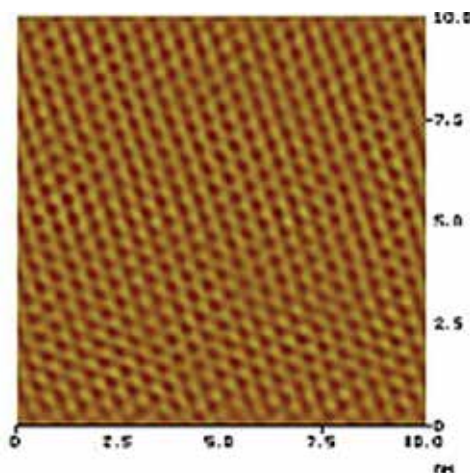


Figura 14. Imagem da superfície da mica obtida com um microscópio de força atômica.

Fonte: Adaptada de RESOLUÇÃO...

- Nossa, professor, isso parece coisa de ficção científica! – Exclama Pedro -

- Vocês têm razão! Há uns 50 anos atrás podíamos achar que era ficção científica, hoje isso é realidade. Além dos microscópios,

que estão em constante evolução, gerando imagens cada vez mais fáceis de analisar, os cientistas também usam outros princípios físicos como difração de raios X e ressonância magnética nuclear para fazer medições em escala sub nanométrica. Esses métodos, por usarem simultaneamente vários fenômenos físicos, requerem conhecimentos mais avançados e que estão fora do alcance dos alunos de ensino médio. De fato, no século passado e no atual, os avanços científicos e tecnológicos ocorrem com grande velocidade e ninguém pode achar que sabe tudo: é um constante aprender! – Exclama o professor e conclui sua frase – Com esses conhecimentos agora podemos passar a discutir como são criados, medidos e usados os produtos da nanociência e nanotecnologia. Mas, poderemos fazer isso no nosso próximo encontro?

– OK! Professor até mais.

## 6ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Nanociência e Nanotecnologia.

No dia e horário combinados lá estavam Pedro e Vitória ansiosos para saberem sobre como obter nano partículas e conhecer suas aplicações. O professor inicia a conversa com alguns comentários:

- Agora vocês já têm conhecimentos básicos para entender o que é Nanociência e Nanotecnologia. As palavras Nanociência e nanotecnologia são compostas por palavras de origem grega: o prefixo “nano” significa anão e Ciência significa conhecimento e Tecnologia: é formada de duas palavras “*tekhne*” que significa: técnica, arte, ofício e “*logia*” que significa: estudo. Podemos dizer então que a Nanotecnologia é o conjunto de procedimentos que visam a produção de materiais, dispositivos e equipamentos através da manipulação e do controle dos mesmos na escala nanométrica (1 a 100 nm), explorando as novas propriedades (físicas, químicas, etc.) que surgem nesta escala de tamanho.

- Mas, professor, como é possível trabalhar nessa escala com objetos tão pequenos?

- Pedro, sua pergunta tem muito sentido! Foi necessário desenvolver técnicas especiais para fazer essa manipulação. Para esse desenvolvimento é necessário contar com o apoio de química, bioquímica, biologia molecular e física. Obtido um material, presumivelmente na escala nanométrica, temos que caracteriza-lo e aí então se usam os diferentes tipos de microscopia como já discutimos. No caso de materiais cristalinos a difração de raios X é uma técnica

muito poderosa que permite aos cientistas ter informação em escalas até sub nanométrica.

– Mas professor, por que tanto interesse em *fazer e ver* coisas tão pequenas?

– Sob o ponto de vista da Nanociência os cientistas procuram desenvolver novos materiais nanométricos para conhecer como suas propriedades físicas e químicas se alteram em relação aos mesmos materiais na escala macro e assim entender melhor as leis da natureza.

– Essa é uma motivação muito legal, professor, mas pelo que já entendi, a Nanotecnologia visa a obtenção de novos produtos.

– Certamente. As agências que apoiam pesquisas nas universidades e as empresas investem cada vez mais em nanociência e nanotecnologia visando a criação de novos materiais ou novos produtos de conteúdo nanotecnológico. Assim, a nanotecnologia é uma nova fronteira em que as empresas vem atuando para fazer componentes de seus produtos cada vez menores e mais eficientes e com maior valor agregado e que podem levar até à redução do custo de produção (menos matéria-prima e energia). Em geral as empresas buscam também tornar seus produtos mais atraentes para o público consumidor como, por exemplo, no caso dos equipamentos eletrônicos multifuncionais e, assim, ganhar na competitividade com empresas similares e manter seu mercado e ganhos.

– Professor, o senhor poderia nos dar algum exemplo? – Pede Vitória.

– Com prazer Vitória. Você sabe como eram os primeiros telefones celulares?

– Sim, vi um num programa de televisão e minha mãe me contou que eles eram grandes e só serviam para fazer e receber ligação. Ou seja, não tinham tantas funções como os atuais.

- Isso mesmo. Hoje em dia os celulares estão cada vez menores e com muitas funções. Um celular de hoje substitui muitos dos aparelhos que seus pais conheciam quando eram crianças, como relógio, despertador, rádio, toca-discos, máquina de calcular, telefone, televisão, máquina fotográfica, filmadora além de muitas outras coisas que seus pais não sabiam que um dia existiriam. Isso graças principalmente a dois fatores: a miniaturização dos componentes eletrônicos, como os transistores que hoje têm muitos componentes nanométricos, e ao extraordinário desenvolvimento da informática no que se refere tanto ao “hardware” como ao “software”.

- Nossa professor, meu pai diz que a moderna tecnologia transformou a nossa vida!

- Vitória, seu pai tem razão e você está entendendo o porquê disso agora.

- Mas professor o Sr. pode me explicar melhor...- pede enfaticamente Vitória - porque a escala de tamanho nanométrica é tão importante no desenvolvimento de novos materiais com novas propriedades?

- Para se ter uma boa ideia sobre isso, vamos fazer dois experimentos para demonstrar como a redução das dimensões dos materiais é importante mesmo em dimensões macroscópicas. Um experimento será para demonstrar como a redução do tamanho do material influencia um fenômeno físico e o outro para demonstrar a influência do tamanho do material num fenômeno químico. Vamos fazer dois experimentos bem simples.

- O que precisamos para fazer o experimento físico? - Pergunta Vitória.

- Precisaremos dos seguintes materiais: 4 copos iguais, areia grossa e areia bem fina (suficiente para encher os copos), uma peneira fina e uma garrafa d'água.

– Vou já providenciar isso – diz Vitória, sai apressada e volta em meia hora – e agora, o que faremos?

– Muito bem, Vitória! Agora encha um copo com a areia grossa e o outro com areia fina. Coloque então água nos copos até derramar.

– Pronto, já estão bem cheios de areia e água, o que faço agora?

– Agora usando a peneira filtre a água de cada copo separadamente em cada um dos copos que estão vazios e veja quanta água sai dos copos com areia fina e com areia grossa.

– Bárbaro professor, o copo com areia grossa filtrou mais água que o com areia fina!

– E vocês conseguem explicar o motivo desse resultado? – Pergunta o professor -. Pedro e Vitória pensam um pouco e Vitória diz:

– Me parece que a areia tem a mesma natureza, portanto não pode ser por causa de diferenças químicas do material. – Pedro então acrescenta:

– A única diferença está no tamanho dos grãos das areias. Assim acho que o resultado se deve à diferença do espaço livre deixado pelas areias grossa e fina. Ficou muito mais espaço entre os grãos da areia grossa. Mas apesar disso vemos que ambas areias estão molhadas. Assim as duas amostras tiveram comportamento diferente devido ao tamanho dos grãos! – Conclui Pedro.

– Certíssimos, Pedro e Vitória. Os dois argumentaram muito bem. Faltou apenas explicar porque deve ter ficado mais água molhando os grãos da areia fina. Para explicar isso vejamos como a redução do tamanho do grão de areia pode ter mudado a quantidade de água retida.

– Professor, – pede Pedro – posso fotografar todas as etapas de nosso experimento?

– Claro – responde o professor – assim você poderá até mostrar o experimento para seus colegas de classe.

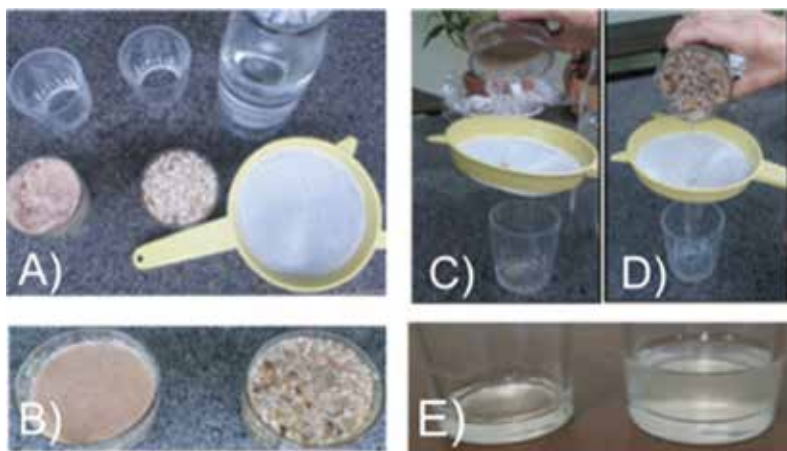


Figura 15. A) Materiais usados no experimento: um copo com areia fina, um copo com areia grossa, dois copos vazios, uma garrafa d'água e uma peneira. 15.B) Copos com areia após adição da água. 15.C) filtrando a água da areia fina. 15.D) filtrando a água da areia grossa. 15.E) Quantidade de água que saiu da areia fina (copo à esquerda) e quantidade de água que saiu da areia grossa (copo à direita).

Fonte: Elaboradas pelas autoras.

– Isso mesmo. Mas como o tamanho da partícula afeta a quantidade de água que a areia segurou?

– Para explicar isso vamos ter que ver como a redução do tamanho do grão de areia afeta a área superficial total da areia. Imagine que cada grão das areias grossa e fina tenham a forma de um cubo perfeito. Para fazer as contas vamos assumir que cada aresta do grão de areia grande tem  $2\text{ mm}$  – o professor toma uma folha de papel e vai desenhando enquanto fala – (figura 16A) e da areia fina só a metade, ou seja,  $1\text{ mm}$  (figura 16B). Vocês perceberam alguma coisa interessante quando reduzimos a aresta pela metade, figura 16 A?

– Acho que sim. Foram necessários oito cubos pequenos para fazer o mesmo volume ou quantidade de material do cubo grande.

- Isso mesmo.
- Vamos então calcular a superfície e volume dos dois cubos:
- A superfície de cada lado do cubo pequeno vale  $1 \text{ mm}^2$ , e do cubo grande  $4 \text{ mm}^2$  e como o cubo tem seis lados a área superficial total do cubo grande será igual a  $6 \times 4 = 24 \text{ mm}^2$  e do pequeno igual a  $6 \times 1 = 6 \text{ mm}^2$ . Já o volume do cubo grande é dado por  $2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ mm}^3$  enquanto que para o cubo pequeno é  $1 \times 1 \times 1 = 1 \text{ mm}^3$ . Então dividindo a área superficial (A) pelo volume (V) do cubo grande temos sua área superficial específica =  $A/V = 24/8 = 3 \text{ mm}^{-1}$  enquanto que a do pequeno é de  $A/V = 6/1 = 6 \text{ mm}^{-1}$ .

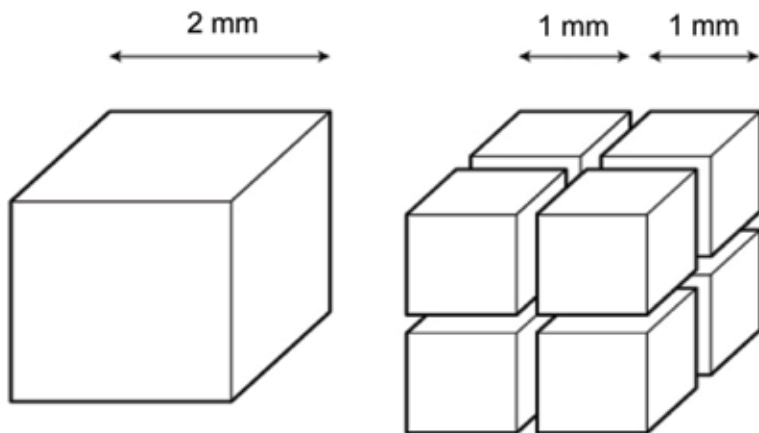


Figura 16 Variação da área superficial específica de um material ao ser fragmentado.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Ou seja,  $A/V$  para o cubo menor é duas vezes maior do que a do cubo grande. Também podemos ver isso dividindo a área superficial dos oito cubos pequenos, ou seja,  $8 \times 6 \text{ mm}^2 = 48 \text{ mm}^2$  pela área do cubo grande ( $24 \text{ mm}^2$ ). Ou seja,  $48/24 = 2$ . Assim, podemos afirmar que se dividirmos um material na forma do cubo em oito partes iguais,



essa mesma quantidade de material terá área superficial duas vezes maior. Isso também pode ser aplicado a qualquer outro tipo de forma do material, ou seja, toda vez que diminuir o tamanho das partículas, maior será a área superficial para uma mesma quantidade de produto.

– Professor, o que a diferença da razão entre  $A/V$  tem a ver com o experimento que nós fizemos com água e areia?

– Vamos considerar que a água não penetra nos grãos de areia e que ela só fica adsorvida na superfície dos grãos. Então, Pedro, qual areia tem maior área superficial específica, a grossa ou a fina?

– A areia fina, é claro.

– Então, se ela tem área superficial total maior que a da areia grossa, e como a água só é adsorvida na superfície, a areia fina segura mais água que a grossa. – Conclui o professor, e continua – Vejamos agora outro experimento que mostra a alteração de uma propriedade química. – Imediatamente Vitória pergunta:

– E para esse experimento o que precisaremos?

– Precisaremos dos seguintes materiais: Um pires ou prato, um prego ou um pedaço de fio de aço, um alicate ou pinça, um pouco de lã de aço do tipo usado para lavar panela e uma caixa de fósforo. – Vitória sai em busca dos materiais e logo volta.

– Pronto professor, como começamos?

– Inicialmente, Vitória, coloque a lã de aço no pires e segure o prego com o alicate e então, Pedro, você acende um fósforo e tente queimar o prego.

– É pra já, – responde Pedro acendendo o fósforo e o aproximando, da extremidade livre do prego. – Vitória olha atentamente e diz:

– Professor, não acontece quase nada.

– Certo, Vitória. Agora, Pedro, acenda outro fósforo e com cuidado tente queimar a lã de aço.

– Super interessante, professor, a palha de aço pega fogo na mesma hora!

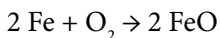
– De fato, como vocês observaram com o prego não aconteceu quase nada. Ele ficou quente e um pouco escurecido. Já a lâ de aço pegou fogo e deixou um resíduo escuro no prato. Digam então, qual a diferença entre o prego e a lâ de aço, já que são feitos do mesmo material?

– O prego tem uma área superficial muito menor que a lâ de aço, – observa Pedro – pois ela é feita de fios muito finos cuja área livre exposta ao ar fica muito grande. Porque isso ajuda tanto na combustão, Professor?

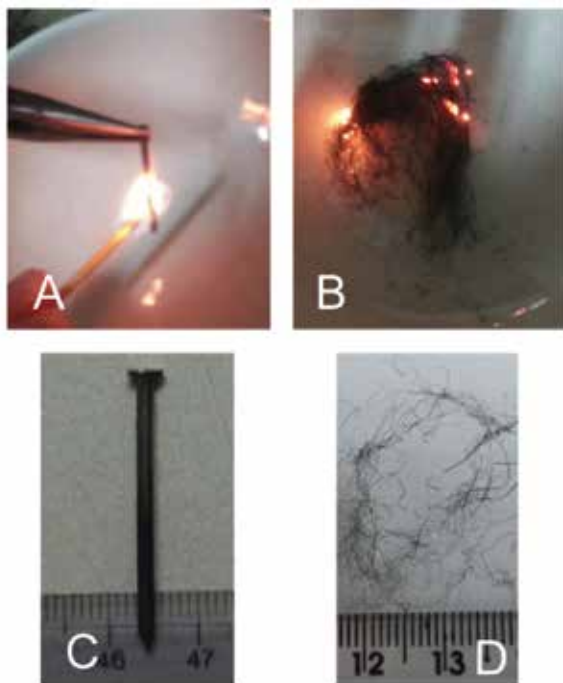
– É aí que entra a alteração na propriedade química, ou melhor na cinética da combustão. Vocês sabem qual é a reação química da combustão?

– Acho que tem a ver com oxigênio do ar, não é?

– Isso mesmo. A combustão se dá pela combinação do metal com o oxigênio de acordo com a seguinte reação:



Essa reação se dá na superfície do material combustível. Assim quanto maior a área superficial maior a facilidade para que a reação ocorra. Podemos dizer que a propriedade química é a mesma, mas a velocidade da reação, dada pela massa do ferro oxidada por segundo, fica muito alterada.



Figuras 17 (A, B, C e D) Experimentos sobre a combustão do ferro sob forma macro e microscópica.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

– Então Pedro, o que podemos concluir com esses dois experimentos?

– Podemos concluir que as propriedades dos materiais dependem do tamanho das partículas e, dessa maneira, os nanomateriais podem ter propriedades muito diferentes das do mesmo material com dimensões macroscópicas. – E o professor corrobora;

– Essa é uma das possíveis vantagens dos nanomateriais! Isso foi muito bem apresentado por Medeiros e Matoso quando dizem que: Apesar de a ciência dos átomos e moléculas simples, de um lado, e a ciência da matéria, desde a micro até a macroestrutura, do outro, já

estarem bem estabelecidas e fundamentadas, a nanotecnologia ainda se encontra em sua fase inicial, pois ainda há muito a ser compreendido sobre o comportamento dos materiais em nanoescala. (Duran, Mattoso e Moraes in *Nanotecnologia: Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*, p.13.)

- Mas ainda não sabemos como produzir nanomateriais. - Diz Vitória -.

- Calma Vitória. Falaremos sobre isso em nosso próximo encontro amanhã após a aula.

- Certo professor! A cada encontro aprendo coisas novas e fico ainda mais fascinada por esse tema.

## 7ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Como são produzidos os nanomateriais e dispositivos com componentes nanométricos.

No próximo encontro o professor vai direto ao tema:

– Pedro e Vitória, os nanomateriais podem ser feitos tanto pela “moagem” de partículas grandes quanto pela síntese das estruturas a partir de átomos ou moléculas que normalmente podem ter dimensões sub nanométricas. Esses dois métodos são chamados pelos cientistas de métodos de fabricação “Top-Down”, que quer dizer do maior para o menor e “Bottom-Up”, ou seja, do menor para o maior. Vejam aqui na tela do meu computador uma ilustração gráfica que encontrei na internet e que dá bem uma ideia dos dois métodos de produção de nanomateriais (Figuras. 18A e B).

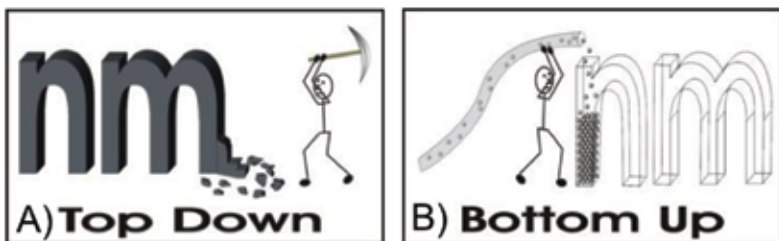


Figura 18 – Ilustração da diferença entre os métodos de fabricação de nanomateriais: A) tecnologia “Top Down”, no qual se parte de um material de maior tamanho e se faz a remoção (desintegração) controlada até que o material atinja tamanho nanométrico, e B) tecnologia “Bottom-Up”, no qual obtém-se materiais nanométricos através da montagem altamente controlada de estruturas a partir de arranjo de átomos e moléculas.

Fonte: OZIN et al.

- E qual desses dois métodos é mais utilizado na prática? - Pergunta Vitória.

- Excelente pergunta Vitória! Na realidade a produção por qualquer um dos dois métodos foi utilizada em experimentos controlados a nível de laboratório ou apenas para mostrar sua viabilidade. Entretanto a produção a nível de aplicações de interesse prático exige a obtenção de quantidades relativamente grandes de nanopartículas e aí temos que buscar outros métodos, em geral métodos e processos relacionados à química e físico-química de sistemas já bem conhecidos como, por exemplo, os sistemas coloidais. Devemos ainda lembrar que os nanomateriais podem se apresentar com características nanométricas em uma, duas ou três dimensões e são utilizados em diferentes aplicações na dimensão adequada. - Vitória, pensa um pouco e pergunta: -

- Professor, nas aplicações os nanomateriais funcionam sozinhos ou tem que estar associados a outros materiais?

- Sua pergunta faz muito sentido, Vitória. Em geral os nanomateriais são usados associados a outros materiais que podem atuar como substratos ou associados a outros materiais que os funcionalizam, quero dizer, que os tornam capazes de efetuarem alguma função.

- Professor, poderíamos discutir a geração e aplicações para cada uma dessas dimensões? - Pergunta Pedro. -

- Boa ideia Pedro. Vamos começar com nanomateriais monodimensionais. Nesse caso temos as membranas e filmes nanométricos que possuem duas dimensões macroscópicas e apenas uma dimensão nanométrica: sua espessura. Eles podem ser obtidos por deposição física a vapor cuja sigla em inglês é PVD (Physical Vapor Deposition), por sucessivas imersões do substrato numa solução de material do filme pretendido (método de Langmuir-Blodgett) ou

ainda soluções aquosas de moléculas com cabeça polar (hidrofílica) e cauda apolar (hidrofóbica) dando origem a membranas ou micelas. De fato, são inúmeros os métodos que a cada dia estão sendo aperfeiçoados e/ou inventados. Tais filmes podem ser utilizados fixos no substrato ou removidos do mesmo.

- E em que dispositivos esses filmes podem estar presentes?  
- Pergunta Vitória. -

- Uma das mais importantes aplicações é na indústria eletrônica, pois os filmes, que em geral estão formados sobre material isolante, podem ter características de condutores ou semicondutores podendo dessa forma fazer parte do circuito de, por exemplo, um chip com dimensões diminutas, várias funções e grande memória. Em medicina filmes poliméricos já encontram aplicação como pele artificial, muito importante no caso de tratamento de queimados e cirurgia. Além disso podem estar funcionalizados com outros nanomateriais com propriedades bactericidas como nano partículas de prata, o que protege o paciente contra infecções.

- E existem materiais nanométricos novos que ainda estão sendo pesquisados? - Pergunta Vitória -.

- Sim, Vitória, e um dos mais interessantes é o grafeno, uma nova variedade de carbono com estrutura muito parecida com a do grafite, porém constituído por apenas uma camada de átomos de carbono interligados por ligações covalentes formando hexágonos. As propriedades físicas desse material são muito diferentes das outras variedades alotrópicas do carbono como o grafite, o diamante e o carbono amorfo. Isto o torna um material muito interessante em muitas aplicações tecnológicas por aliar baixa densidade com excepcionais qualidades mecânicas e elétricas. Sua descoberta foi tão importante que os seus descobridores, de origem russa, Andre Geim e Konstantin Novoselov receberam o Prêmio Nobel de física

de 2010. Os dois cientistas, na época trabalhavam na Universidade de Manchester (Reino Unido).

– E como são obtidos os materiais nanométricos bidimensionais? – pergunta Pedro –.

– Reduzindo duas das três dimensões, chegamos aos **fios nanométricos** exemplificados pelos nanofios metálicos e nanotubos de carbono. Existem muitos tipos de nano fios tais como nano fios supercondutores como o YBACU, nano fios metálicos de níquel, platina e ouro, nano fios semicondutores de silício, fosfeto de índio (InP), nitreto de germânio (GeN), e de materiais isolantes cerâmicos como óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e nano fios moleculares orgânicos, como DNA, celulose, e polímeros sintéticos. Esses se apresentam sob forma de fios muito finos com propriedades físicas excepcionais e existem vários métodos para produzi-los. Um dos mais promissores são os nanofios de carbono cuja baixa densidade e notáveis propriedades mecânicas, elétricas e físico-químicas permitem várias aplicações, tais como melhoria de propriedades mecânicas de cimentos, de ligas metálicas, de polímeros e de fibras naturais. Além disso muitos apresentam baixa toxicidade e considerável biodegradabilidade permitindo assim a sua funcionalização para aplicações em bionanotecnologia.

– Professor, com são feitas as descobertas dos métodos para obter nanofios e nanopartículas de um modo geral? – Pergunta Vitória-.

– Como ainda não se obtém nanofios em quantidade suficiente por via sintética para aplicações industriais, e como é muito difícil produzir nanopartículas estáveis, a busca de melhores métodos é uma área de pesquisa, desenvolvimento e inovação muito rica. Observando, entretanto, que nanofios e nanomembranas são produzidos em muitos seres vivos, tais como algumas bactérias



que podem segregar grande quantidade de nano fios de celulose, muitos cientistas estudam animais que sabem muito bem como fazê-lo e tentam adaptar esses métodos naturais às suas condições de trabalho.

- Finalmente, professor, chegamos às nanopartículas tridimensionais. Será que é possível obtê-las com facilidade? – Pergunta Pedro.-

- Posso dizer que nanopartículas tridimensionais são abundantes na natureza, principalmente nos seres vivos onde temos nessa dimensão a maioria dos componentes das células humanas, desde membranas celulares (de 4 a 5 nm de espessura), organelas (500-1000 nm) e núcleo (5000 nm).

- E as nano partículas inorgânicas, professor, como são obtidas?

- Nanopartículas foram utilizadas empiricamente desde muitos séculos e o exemplo mais conhecido são os vidros coloridos que compõem os vitrais góticos. Os vidreiros da idade média já sabiam que a incorporação de partículas de vários metais provocava cores intensas nos vidros. Certamente eles não conheciam o porquê desses resultados, mas o conhecimento empírico foi passando de geração em geração. O processo de obtenção de nanomateriais consta na literatura desde 1857, quando M. Faraday, grande cientista inglês que descobriu os princípios do eletromagnetismo, relatou a síntese do ouro coloidal e explicou a origem das diferentes cores tendo por base a teoria do espalhamento da luz visível por partículas com vários tamanhos. A partir dessa época, e até os dias atuais, vários métodos de preparação de nanopartículas metálicas continuam sendo desenvolvidos. Em geral, eles são métodos químicos, em especial aqueles baseados em fenômenos de auto-montagem e auto-organização. Sua utilização leva em conta aspectos

como a qualidade, a rapidez e o custo da preparação. Mas já está na hora de minha aula. Podemos continuar na próxima semana?

– Sim, professor, pois agora é que estamos de fato no tema de nanopartículas!

## 8ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Aplicações das Nanopartículas Microeletrônica

No dia seguinte, mesmo antes da hora marcada lá estavam Pedro e Vitória na porta da sala do professor. Assim que o professor chegou, convidou-os para entrar já percebendo neles uma ansiedade à flor da pele.

- Professor, em que áreas da ciência e da tecnologia as partículas nanométricas são mais utilizadas? -Pergunta Pedro -.

- Podemos destacar as aplicações em eletrônica e em biologia. Vamos começar com a microeletrônica?

- Ótimo, professor, pois eu acabo de ler um artigo em uma revista de divulgação científica que dizia que a tecnologia da Microeletrônica está em vias de se esgotar, e que a evolução na área da eletrônica se dará via a Nanoeletrônica. Eu mostrei esse artigo à Vitória, e ambos ficamos ansiosos para a conversa marcada para hoje. - Mesmo antes de se ajeitar na cadeira, Vitória disparou:

- Professor, hoje nós queremos saber tudo sobre Microeletrônica e Nanoeletrônica. - O professor, com sua calma peculiar, ponderou:

- Vocês querem saber de um assunto muito vasto e complexo, e confesso que meus conhecimentos nessa área são limitados. Mesmo assim, vamos conversar sobre o assunto com a ajuda dessa ferramenta maravilhosa que é a internet. - Porém, antes de ligar o computador o professor fez uma breve síntese da história da eletrônica. -

- Pode-se dizer que a Eletrônica teve início em 1904, - contou ele - quando o cientista britânico John Ambrose Fleming inventou o retificador termiônico a vácuo, assim chamado porque a fonte

de elétrons é constituída por um filamento de tungstênio aquecido. Esse é um dispositivo retificador que tem a função de transformar uma corrente elétrica alternada em contínua. Mas há quem atribua essa invenção a Thomas Alva Edison. Logo em seguida, em 1905, - continuou ele - Lee de Forest, um engenheiro elétrico americano, inventou o tríodo usando uma tecnologia semelhante à da válvula diodo, mas que possuía um terceiro elemento chamado “grade” que permitia também amplificar a corrente elétrica que passava através dessa nova válvula. Esses inventos proporcionaram um avanço extraordinário às telecomunicações; ou seja, abriram caminho à invenção do rádio, da televisão e dos computadores eletrônicos entre outros inventos que revolucionaram o século XX.

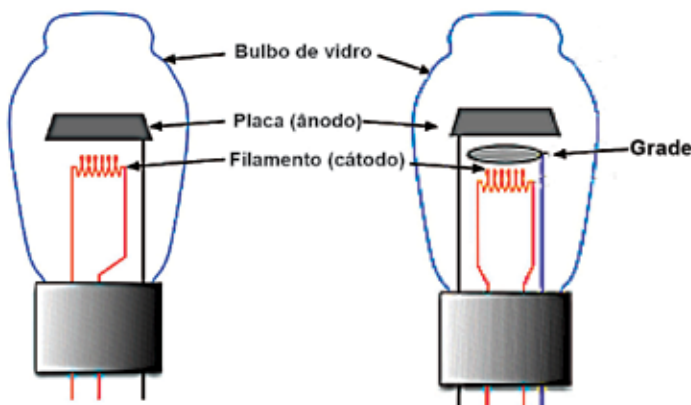


Figura. 19 Representação esquemática de uma válvula diodo e de uma tríodo.

Fonte: Adaptada de INFRAESTRUTURA...

- Pedro e Vitória não perdiam uma só palavra dita pelo professor, e sua curiosidade só aumentava à medida que o professor ia contando fatos sobre a história da eletrônica. Pedro então pergunta -:

- Professor, tríodo e transistor são sinônimos? - O professor então esclarece: -

– Pedro, ambos, o tríodo, a válvula e o transistor, são dispositivos que amplificam um sinal num circuito elétrico, porém o nome transistor vem da chamada eletrônica do estado sólido.

– E o que quer dizer “eletrônica do estado sólido”? – Indagou rapidamente Vitória que acompanhava tudo com grande atenção.

– A chamada “eletrônica a válvula” gerou uma indústria enorme que dominou o mundo das comunicações até antes da Segunda Grande Guerra. – Explica o Professor – mas, na metade do século XX, mais precisamente em 1947, três cientistas dos Laboratórios da Companhia de Telefones Bell dos EUA, John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley, construíram um tríodo feito em cristal de germânio com contatos elétricos de ouro. Esse dispositivo produziu o efeito de amplificação do sinal elétrico, e a ele foi dado o nome de transistor, que é a contração das palavras inglesas *transport* e *resistor* que poderíamos traduzir como *resistor de transporte*. Estava então iniciada a era da eletrônica do estado sólido, ou mais especificamente, dos semicondutores. – Pedro interrompe mais uma vez: –

– Semicondutores? Sempre ouvimos falar neles, mas na verdade não sabemos exatamente o que são, – O professor então explica –

– Pedro e Vitória, do ponto de vista das propriedades elétricas, os materiais podem ser divididos em três categorias: os condutores, os isolantes, e os semicondutores. Os condutores são aqueles que conduzem eletricidade com facilidade. Todos os metais, por exemplo, são materiais condutores. Aqueles que não conduzem são chamados isolantes. A maioria dos materiais plásticos, cerâmicos, vítreos, são bons isolantes. Há uma classe de materiais intermediários, entre os condutores e os isolantes, como o silício e o germânico, que são chamados de semicondutores porque são isolantes ou condutores conforme a corrente elétrica os atravessa segundo diferentes direções. Os semicondutores são os materiais usados na eletrônica

atual. Como os transistores são muito menores que as válvulas, os circuitos são muito menores, mais baratos, gastam menos energia e, por essas razões eles foram muito estudados e utilizados em inúmeros tipos de circuitos elétricos. Vejam aqui no meu laptop o primeiro transistor. A evolução na construção de transistores e a associação de vários em um mesmo suporte levou à invenção dos circuitos impressos e dos chips que são muito pequenos.



Figura 20. Montagem experimental do primeiro semiconductor: A placa triangular é um monocristal de germânio sobre a qual temos um eletrodo de ouro, o catodo, e na parte inferior outro eletrodo do mesmo material, o anodo. Ao aplicar uma voltagem alternada entre o anodo e o catodo observa-se a retificação da corrente.

Fonte:SACCO, F.

Vitória, demonstrando muita curiosidade exclama:

- Não chegamos nem perto da Nanoeletrônica e já estou fascinada com essa história! - E o Professor emenda -.

- Ótimo, tenham calma e chegaremos onde vocês querem. Vamos lá, temos mais alguns minutos. Podemos dizer que a partir dessa invenção as pesquisas na área da eletrônica progrediram numa velocidade estonteante, e iniciou-se a era da Microeletrônica. Como o próprio nome diz, os dispositivos começaram a ser fabricados em escalas de dimensões micrométricas. Isso quer dizer que em comparação ao transistor de 1947, o salto foi extraordinário. O avanço tecnológico permitiu reduzir as dimensões de um transistor, que era de vários centímetros (o transistor do Bardeen, Brattain e Shockley) para transistores com dimensões 10.000 vezes menores. Daí surgiram, então, os microprocessadores.

- Professor, qual é a diferença entre microprocessador e *Chip* eletrônico? Perguntou Pedro.

- Nenhuma diferença. Ambos são nomes de um circuito que integra muitos componentes eletrônicos, sendo a grande maioria de transistores de dimensões micrométricas. Os *Chips* realizam funções de cálculos e processam sinais segundo a função específica para a qual são planejados, e operam em altíssima velocidade de processamento.

- Professor, e o que a tão falada lei de Moore tem a ver com tudo isso? - perguntou Vitória. -

- Bom, hoje nosso tempo está terminando. Vamos finalizar nossa conversa justamente sobre essa famosa lei. Porém, é melhor procurarmos alguma informação sobre a lei de Moore navegando na internet. Vejam, esse texto diz que em verdade, apesar do nome, ela não é uma lei, - diz ele apontando para a tela do computador. - A “Lei de Moore” é uma observação feita por Gordon E. Moore, que

foi um dos fundadores da Intel, na qual ele concluiu que em um microprocessador, ou circuito integrado, o número de transistores dobra a cada dois anos. A curva de Moore mostra a evolução que houve na indústria da Microeletrônica, desde os anos 1970 até 2010. O Professor discute o gráfico e acrescenta;

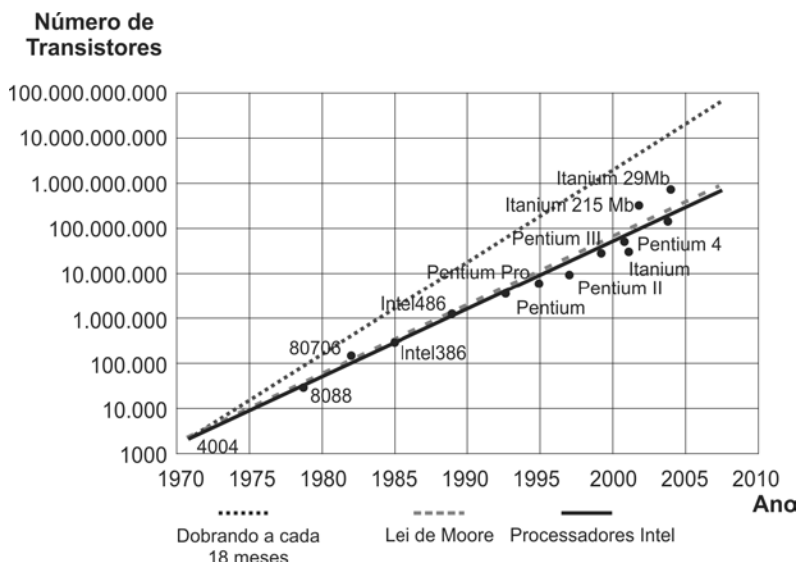


Figura 21. Crescimento do número de transistores para processadores Intel (pontos) e **Lei de Moore** (Linha de cima admitindo-se o dobro a cada 18 meses, linha de baixo a 24 meses).

Fonte: WIKIPEDIA...

- Para contextualizar melhor o que a lei de Moore prevê, o primeiro processador Intel de 1971, o 4004, possuía 2.300 transistores. Hoje os processadores estão próximos de 2.600.000.000 construídos na mesma área. Isso quer dizer que a dimensão de um transistor diminuiu mais de um milhão de vezes em quarenta anos. Porém, tudo indica que isso tem um limite, e a tecnologia da chamada Microeletrônica está mesmo se esgotando. Mas isso é conversa para nosso



próximo encontro, OK? Vocês gostariam de nos encontrarmos na próxima semana?

- Certamente, Professor. Estamos muito interessados em conhecer os avanços da nanoeletrônica e suas possibilidades. Até nosso próximo encontro. – E assim Pedro e Vitória se despedem e saem da sala ainda comentando os extraordinários avanços da microeletrônica -.

## 9ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Nanoeletrônica

No dia seguinte, pontualmente lá estavam Pedro e Vitória. Não iam perder a conversa do dia por nada desse mundo. O professor então retomou a conversa exatamente no ponto que tinham parado no dia anterior. Ele havia feito uma consulta detalhada na internet para tentar identificar por onde anda a fronteira das pesquisas em Nanoeletrônica.

- Partindo de onde paramos ontem, - disse ele -, no gráfico da Lei de Moore descobri que a tecnologia usada no microprocessador 4004 era a de 10 micrômetros. Em 1985 a tecnologia tinha evoluído para a escala de 1 micrômetro. Em 1999 ela alcançou a diminuta escala dos 180 nanômetros, e hoje estamos vivendo a fronteira dos 22 nanômetros. Desse ponto de vista, podemos dizer que a tecnologia da Microeletrônica naturalmente evoluiu para a Nanoeletrônica. Além disso, li que essa é uma nova tecnologia (a dos 22 nm) que a empresa Intel desenvolveu, na qual a estrutura dos transistores é tridimensional. Até então, de 1971 até 2010, todas as outras tecnologias fabricavam cada transistor numa estrutura planar, ou seja, bidimensional.

- Puxa vida! - exclama Pedro, - eu daria tudo para entrar no laboratório da Intel para acompanhar cada passo da fabricação desses nanoprocessadores.

- Muito bem, - diz o professor -. Agora já podemos falar que esses *Chips* não são mais microprocessadores, mas sim nanoprocessadores. Vejam, capturei uma foto desse processador.

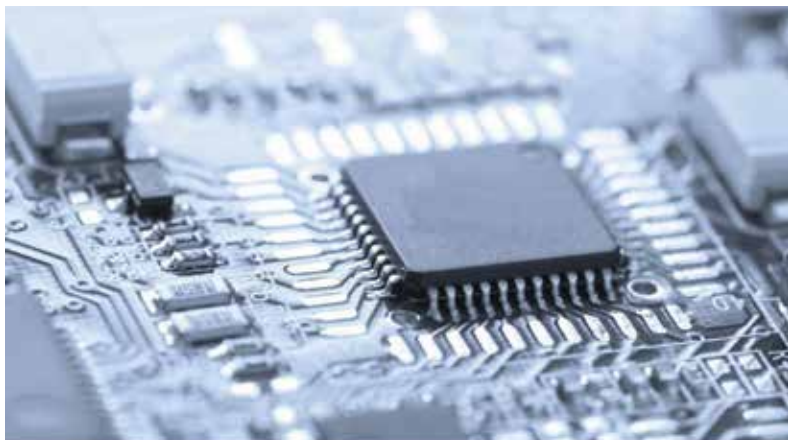


Figura 22. Microprocessador da INTEL com grande número de componentes

Fonte: A HISTORIA...

Além de conter no seu interior muito conhecimento científico e muita tecnologia de ponta, esse *Chip* tem um design moderno.

- Ele é lindo, - diz Vitória não escondendo seu fascínio pelo assunto. O professor dá então continuidade à conversa:

- As pesquisas não param por aí, e prevê-se que em 2021 a tecnologia deverá alcançar a escala dos 5 nanômetros. Esse avanço reflete-se diretamente na capacidade e velocidade das telecomunicações, dos computadores, dos *smartphones*, entre outras muitas parafernálias eletrônicas. - Entusiasmado, Pedro pergunta: -

- Fantástico! Se continuar assim, a Nanoeletrônica alcançará a escala molecular, não é professor?

- É exatamente nesse ponto que quero chegar com a nossa conversa de hoje. E adianto, que nosso papo de hoje pode ser o ponto final de toda nossa discussão, porque estamos chegando no fim da linha da tecnologia hoje existente. Vamos falar de algo que descobri ontem, e confesso que fiquei surpreso e até emocionado.

- Nesse momento, o professor faz uma pausa e fica por um momento com um ar reflexivo, e continua. O homem está perto de dar mais um grande passo em sua história. - Vitória, não escondendo sua curiosidade, instigou o professor a continuar -.

- OK, vamos ao *Gran Finale*. Na minha pesquisa de ontem, navegando na internet, encontrei alguns artigos científicos que foram recentemente publicados em revistas científicas do mais alto nível, como a *Nature*, a *Science* e a *Chemical Society Reviews*. Esses artigos mostram que em alguns laboratórios os cientistas estão conseguindo fabricar e caracterizar dispositivos feitos com uma única molécula. Isso, meus queridos alunos, é mais uma conquista extraordinária que o homem obtém através da pesquisa científica.

- O senhor poderia nos dar mais detalhes sobre esses resultados científicos recentes. - Pedem Pedro e Vitória -.

- Vou relatar o que pude compreender desses artigos, OK? Um deles trata da lei de Ohm aplicada a sistemas moleculares. Vocês conhecem essa lei, não?

- É a lei descoberta pelo cientista Ohm que diz que em um resistor a corrente elétrica  $I$  que passa por um resistor é proporcional à diferença de potencial  $V$  nele aplicado, não é professor? - Adiantou-se Pedro -.

- Exatamente, - responde o professor -. O cientista alemão Georg Simon Ohm publicou sua famosa lei em 1827, e hoje é conhecida pela relação  $V = RI$ , onde  $V$  é a diferença de potencial aplicado num resistor,  $I$  é a corrente elétrica que o atravessa, e  $R$  é a resistência elétrica desse resistor. Olhem aqui na tela do computador as figuras de alguns resistores comerciais.



Figura 23. Exemplo de alguns resistores comerciais.  
Fonte: RESISTORES...

Pois então, num dos artigos que li os cientistas mediram a resistência elétrica de um feixe de poucas moléculas de DNA, ou melhor de segmentos de DNA de 600 nm de comprimento. Vejam na figura o resultado que eles obtiveram das medidas de corrente em função da voltagem aplicada. Essas medidas de  $I \times V$  **não obedecem a lei de Ohm?**

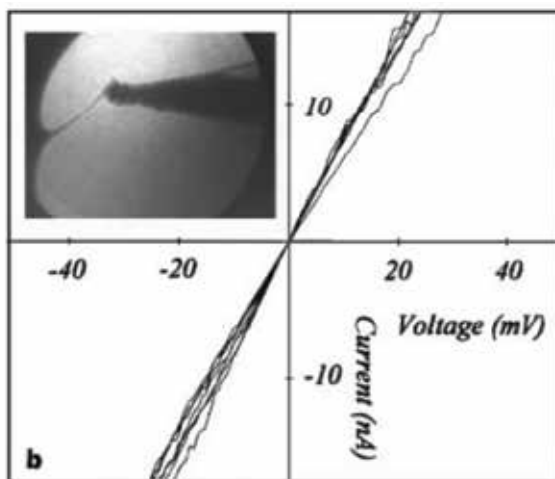


Figura 24. Experimento de medida da corrente resultante da aplicação de uma diferença de potencial sobre um feixe de DNA.

Fonte: FING, H.W.; SCHONENBERGER, C.

- Sim, professor! Perfeitamente, responderam Vitória e Pedro.
- Pois estamos falando de uma resistência feita de poucas moléculas. O resistor é um dispositivo eletrônico, e, por conseguinte, os cientistas estão manipulando moléculas e construindo com elas um elemento de circuito eletrônico. Alguns pesquisadores chamam isso de Eletrônica Orgânica, outros de Eletrônica Molecular.
- Nossa, pelo que estou entendendo, essa Eletrônica é diferente de tudo o que discutimos até aqui, não? Indagou Vitória.
- Bem observado Vitória, - disse o professor -. Mas, outros artigos que li, me fizeram vibrar mais ainda. Tratam eles de transistores feitos com um só segmento molecular de DNA, ou de outras moléculas orgânicas, ou de nanotubos de carbono, entre outras moléculas. Vejam nessa figura há uma imagem obtida por um Microscópio de Força Atômica, onde podemos identificar a molécula de DNA em contato com três eletrodos: o eletrodo Fonte, o eletrodo Dreno,

e o eletrodo Portão. Esses eletrodos em inglês são *Source*, *Drain* e *Gate*, respectivamente.

- Se a barra da escala, marcada na figura, é de 10 nm, isso quer dizer que a molécula de DNA que vemos tem uma espessura de poucos nanômetros, observou Pedro.

- Isso mesmo, Pedro, boa observação, respondeu o professor. Isso mostra o quão maravilhoso é um microscópio como esse. Vários laboratórios de pesquisas do Brasil dispõem de equipamentos como esse. Isso quer dizer que o Brasil tem hoje condições de desenvolver pesquisas nessa área e em outras de nanociências e nanotecnologias.

- O gráfico que esse artigo mostra é a da resposta de corrente com a voltagem aplicada no transistor molecular, não professor? Pergunta Vitória.

- Exatamente! As três curvas são respostas da corrente entre os eletrodos Fonte e Dreno, e as diferentes inclinações são devidas a diferentes distâncias entre os eletrodos Fonte e Dreno. Um efeito maravilhoso observado nesse resultado é o que vemos quando a distância entre a Fonte e o Dreno diminui até 5 nm. Vejam que a resposta da corrente se dá em “degraus”.

- Era isso o que eu estava observando, professor, disse Pedro. O que isso significa?

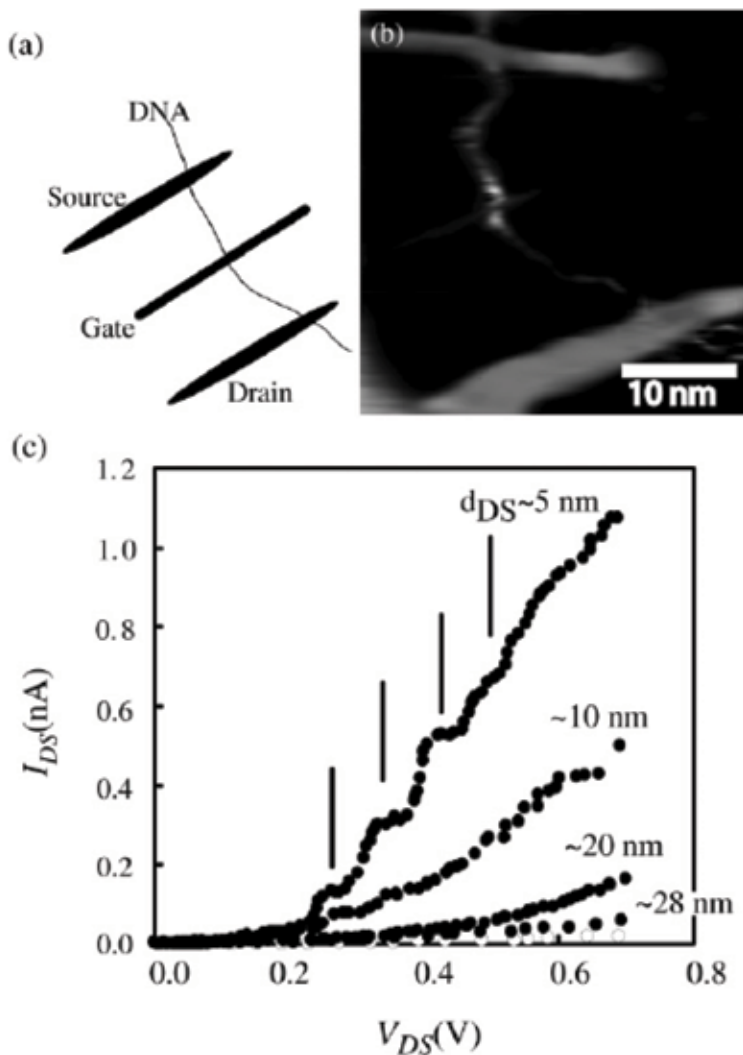


Figura 25. Registro da corrente que atravessa uma fibra de DNA em que se verifica que a corrente é constituída pela passagem de elétron por elétron através da molécula.

Fonte: WATANABE et al.



- Vocês sabem que corrente elétrica é formada por um fluxo de muitos elétrons, ou seja, todos eles movimentando-se com velocidades de mesma direção e sentido, não é?

- Sim, como um grande número de carros rodando por uma estrada, comparou Vitória.

- Isso mesmo, confirma o professor. Se o número de carros começa a diminuir, podemos contar ora um passando pela estrada, ora outro, etc. É exatamente isso o que esses degraus estão mostrando nesse gráfico. Ele registra a corrente que não é devida a um fluxo formado por um número enorme de elétrons, mas está contando a passagem de elétron por elétron através da molécula. Esse é um efeito fantástico que é explicado pela Mecânica Quântica.

- Professor, essa é a mesma Mecânica Quântica que o senhor usou para explicar o movimento dos elétrons no microscópio eletrônico? - Perguntaram os dois ao mesmo tempo -.

- Sim. **É a teoria que explica o mundo atômico e molecular. É uma teoria fantástica que está por trás das Nanociências, mas acho melhor ficarmos por aqui porque vocês chegaram ao limite do meu conhecimento** sobre nano eletrônica molecular!

- Professor não sabemos como agradecê-lo. O seu conhecimento não tem limite, posto que sua didática e sua capacidade de motivação vêm transformando nossas vidas. Isso não tem preço.

- Vocês não têm o que agradecer. Todo professor fica muito feliz quando encontra alunos motivados, seja qual for a sua disciplina. No nosso caso, trata-se de Ciência e Tecnologia, áreas que o nosso país necessita muito desenvolver. Mas ainda temos alguns tópicos a discutir. O próximo será Nanobiotecnologia, se vocês quiserem voltar amanhã.

- Claro que queremos. Estaremos aqui, sem dúvida, amanhã.

## 10<sup>a</sup>. CONVERSA COM O PROFESSOR: Obtenção das Nanopartículas

No dia seguinte chegam juntos Pedro e Vitória que logo se dirigem à sala do Professor. O professor os aguardava e depois de trocarem os cumprimentos habituais dá início a uma introdução ao tema do dia.

- De fato fala-se muito em Bionanotecnologia. De certa forma o grande desenvolvimento dessa área se deve ao fato de que a bionanotecnologia estuda como usar nano partículas em processos biológicos atuando sobre elementos celulares da mesma ordem de grandeza.

- E como são constituídas as nanopartículas tridimensionais? -  
Pergunta Vitória -.

- Em geral, Vitória, elas são obtidas em meios reacionais químicos nos quais é possível produzir nanopartículas de vários tamanhos. No caso das nanopartículas metálicas isto é feito reduzindo o cátion de sais metálicos solúveis. Através de uma reação de redução o íon metálico se transforma num átomo neutro que se agrega a outros iguais formando assim uma nanopartícula.

- Mas professor, como se pode saber o tamanho das nanopartículas obtidas?

- Existem vários métodos tais como microscopia eletrônica e espalhamento de luz. Em ambos os casos, em geral, nota-se que existem na amostra vários tamanhos de partículas e esses métodos permitem quantificar o tamanho médio e o intervalo de sua variação. Quando a maioria das partículas é de um mesmo ou diversos

tamanhos, dizemos respectivamente que o sistema é mono ou polidisperso.

– E se não for monodisperso, professor, o que se pode fazer?

– Pode-se tentar quebrar as partículas maiores, usando algum procedimento físico. Um dos mais usados é a agitação intensa e aplicação de ultrassom ou então fazer uma centrifugação devendo, nesse caso, as partículas de maior massa se sedimentarem no fundo do recipiente. No líquido sobrenadante deverão estar as menores nanopartículas em solução. Este é, em geral, um processo que exige tempo e paciência do pesquisador.

– Professor, e essas nanopartículas permanecem estáveis durante muito tempo?

– Pedro e Vitória, este é um ponto de enorme importância quando pensamos em aplicações. As nanopartículas podem ser compostas por metais, cerâmicas e polímeros ou outros compostos orgânicos ou inorgânicos. Em todos os casos temos que nos preocupar em mantê-los sob forma de nanopartículas vencendo a tendência natural de entrarem em contato e se juntarem para formar uma partícula maior. Isto é inevitável se não tomarmos cuidados especiais. Para vencer essa tendência normalmente se busca envolver a partícula com uma camada de um segundo material com características polares. Dessa forma todas as nanopartículas ficam com mesma polaridade e a força atrativa que tende a uni-las é superada pela força repulsiva coulombiana que surge entre partículas de mesma carga.

– Professor, não entendi o que é essa força coulombiana. O senhor poderia nos explicar?

– É muito simples Pedro. Vocês já devem saber que corpos carregados com cargas de mesmo sinal se repelem e com cargas de sinal oposto se atraem. Além disso, Coulomb, um cientista francês do século XIX, mostrou que essa força é dada pelo produto das cargas

e varia com o inverso do quadrado da distância entre as partículas. Assim, quanto menor a distância maior a força. No caso de partículas de mesma carga temos então uma força repulsiva que obriga as partículas a se afastarem e impede o colapso das mesmas.

– Então, Professor, em geral uma nanopartícula não é formada apenas por um material, mas por vários? – Pergunta Vitória.

– Isso mesmo Vitória! Além disso, em geral para funcionalizar uma nano partícula temos ainda que agregar outros componentes que permitam a realização da função desejada. A nano partícula assim funcionalizada passa a se denominar um nanobiossensor ou simplesmente um biossensor.

– Professor, existem laboratórios de pesquisa em Nanotecnologia no nosso país?

– Existem sim, Pedro. Mas nosso tempo livre já se esgotou, e poderemos falar sobre isso em poucos dias. Que tal segunda feira próxima no mesmo horário?

– Sim, voltaremos sem falta na próxima segunda feira.

## 11ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Laboratórios de pesquisa em nanotecnologia no Brasil e no exterior.

– Vamos continuar nossa conversa pois estou muito interessado em saber como onde se pesquisa sobre a nanotecnologia, o senhor poderia nos dar um exemplo? – Pede Pedro.

– Existem muitos grupos brasileiros trabalhando na obtenção de nano biossensores para detectar várias anomalias devido a doenças, intoxicações e mesmo para correção de órgãos dos sentidos, entre outros. Um desses nanossensores foi desenvolvido pelo Instituto de Física de São Carlos – USP em parceria com o Instituto do Coração (Incor) para monitorar o nível de uma proteína chamada troponina que é produzida e liberada quando há risco de infarto. Assim, se houver aumento anormal de troponina no sangue, isso indica um alto risco de infarto. O mesmo sensor pode ser funcionalizado para exames como controle de glicose no sangue no caso de diabetes ou de anticorpos produzidos por doenças específicas.

– E quantos grupos existem no Brasil? – Pergunta Vitória -.

– Existem muitos grupos no Brasil, Vitória, pesquisando sobre a Nanotecnologia. Uma busca na plataforma LATTES do portal do CNPq sobre grupos de pesquisa, realizada em 20 de abril de 2015 revelou o registro de 366 grupos situados em Universidades e Instituições de Pesquisa de nosso país trabalhando sobre os mais variados temas e aplicações que vão de Medicina, Farmacologia e demais ciências biológicas até Física Química, Eletrônica e Ciências Ambientais.

– Professor, seria possível visitarmos algum desses laboratórios?

– Acredito que sim, sempre agendando essas visitas com antecedência. Vocês sabem, as condições para obter nano materiais de um modo geral são muito rigorosas, exigindo condições ambientais sem contaminantes de qualquer espécie, são as chamadas Salas Limpas. Estas salas devem ter o ar constantemente filtrado e a temperatura e pressão rigorosamente controladas. Por essa razão os visitantes em geral só podem ver o laboratório através de uma janela de vidro. Para lhes dar uma ideia, vejam aqui no meu laptop algumas imagens que colhi na internet. A figura 26 mostra um laboratório típico utilizado para fabricação de nano dispositivos eletrônicos. Observem que os pesquisadores trabalham com roupas especiais e usam objetos de proteção a fim de não contaminarem os produtos e também se protegerem do risco de se contaminarem com nano partículas. Esta é a Sala de nanofabricação da Universidade da Califórnia em Santa Barbara (EUA) utilizada para a fabricação de dispositivos por litografia, deposição de filmes finos entre outras.



Figura 26. Sala de nanofabricação da Universidade da Califórnia em Santa Barbara (EUA) utilizada para a fabricação de dispositivos por litografia, deposição de filmes finos entre outras.

Fonte: THE MAGAZINE...



Figura 27. Foto da sala limpa do grupo de Eletrônica Orgânica do IFSC/ USP/ São Carlos onde são produzidos protótipos de alguns dispositivos que utilizam nanotecnologia.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

– E essas salas limpas são muito caras, Professor? – Indaga Vitória –

– São sim, Vitória. A sala da Universidade da Califórnia serve às pesquisas da Universidade da Califórnia, mas também estende seus serviços para muitas empresas de acordo com contratos pré-estabelecidos. Estima-se que a sala limpa representa um investimento de \$20 milhões de dólares e mais cerca de 25 a 30 milhões para ferramentas de fabricação e equipamentos de ponta específicos para pesquisa e desenvolvimento assim como para testar as mais recentes novidades nanotecnológicas. Já a sala limpa para produção de filmes finos tipo Langmuir Blodgett, e a para produção de nanodispositivos do grupo de polímeros condutores do IFSC, que se destinam apenas a pesquisas em caráter acadêmico, foi orçada em 1,5 milhões de dólares.

– Professor, eu já ouvi falar em grafeno com uma grande esperança para futuros computadores, mais rápidos que os atuais. Isso é verdade? – Pergunta Vitória.

– De fato, esse material é um dos mais promissores. O grafeno é uma das formas cristalinas do carbono (como diamante, grafite, e nanotubos de carbono). O grafeno é material muito forte, leve, bom condutor de eletricidade e calor, além de ser transparente. É uma folha plana de átomos de carbono arranjados em uma rede hexagonal como se fosse uma colmeia. Vejam aqui uma representação dessa estrutura: os átomos de carbono são as esferas em cada vértice dos hexágonos.



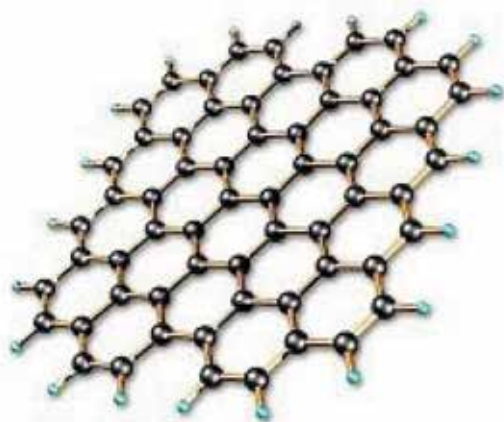


Figura 28. Estrutura do grafeno.

Fonte: GRAFENO...

A descoberta do grafeno foi tão importante que os seus descobridores, de origem russa, Andre Geim e Konstantin Novoselov receberam o Prêmio Nobel de física de 2010. Os dois cientistas na época trabalhavam na Universidade de Manchester (Reino Unido). –Muito curiosa Vitória volta com mais uma pergunta: -



Figura 29. Foto de Andre Geim e Konstantin Novoselov que receberam o Prêmio Nobel de física em 2010.

Fonte: NOBEL...

– E já se conseguiu produzir algum novo objeto com a tecnologia do grafeno?

– Sim, Vitoria, veja aqui, no meu laptop, como exemplo recente deste método de aplicação a montagem de um sistema nanoestruturado baseadas em folhas de grafeno para a fabricação de dispositivos eletrônicos e sensores. Cientistas da universidade de Cingapura conceberam e construíram um equipamento para diagnóstico de malária usando um transistor de grafeno num canal de micro fluidos a ser usado em amostras de sangue dos pacientes. Mas outras aplicações em medicina e saúde são muito importantes e prometem melhorar as condições de muitas populações permitindo melhores diagnósticos, prevenção de doenças infecciosas, maior e melhor produção de alimentos. Mas tenho que interromper nossa conversa por hoje, pois agora tenho que deixá-los para atender a uma reunião de nossa escola.

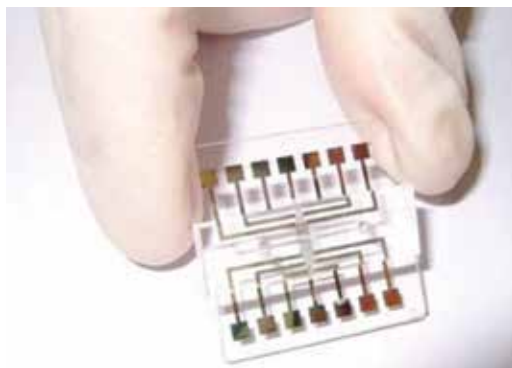


Figura 30. Transistor de grafeno num canal de micro fluidos

Fonte: GRAPHENE...

– Tudo bem, dizem Pedro e Vitória. Nos veremos amanhã à mesma hora?

– Sim, estarei aguardando por vocês.

## 12ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Aplicações da Nanotecnologia à Medicina e à Saúde.

No dia seguinte o professor inicia o novo assunto:

- Outra área de atuação da nanociência e nanotecnologia é a construção de nanomáquinas ou nanorobôs.

- Isso já está acontecendo de fato? - Pergunta Vitória -

- Vitória, em geral imagina-se que os nanorobôs ou nano máquinas devem ser como os do filme de ficção científica, baseado no livro de Isaac Asimov, que se chama Viagem Fantástica. Nesse filme lançado em 1966 um grupo de cirurgiões entraram em uma “nave” e foram miniaturizados. A nave, ficou com cerca de 1µm, foi injetada na veia de um paciente, para remover um coágulo no cérebro.

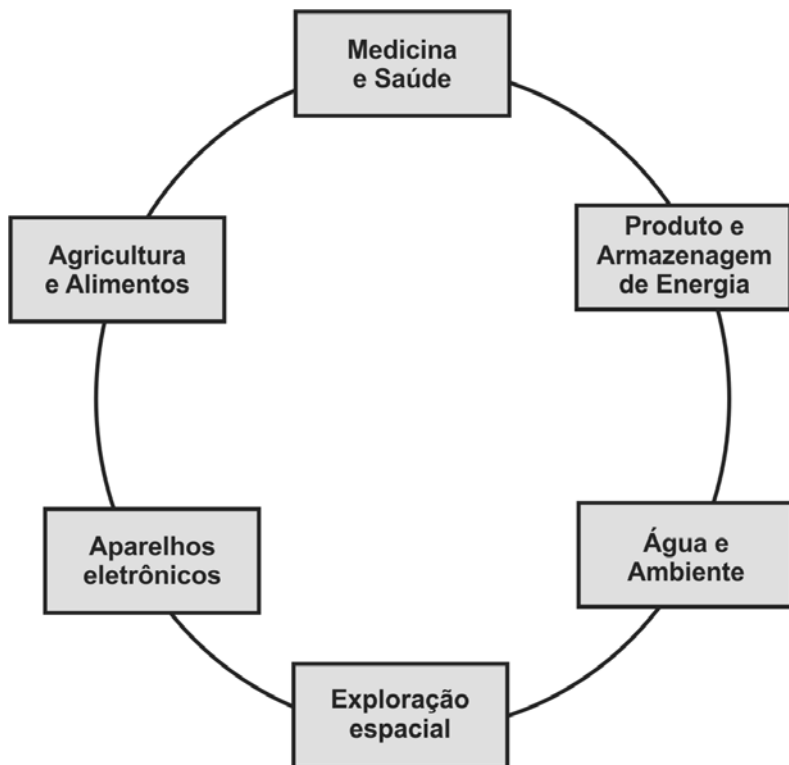
- Mas esse ainda é um campo em que as pesquisas estão em estágio bem inicial, não é, professor? - Indaga Pedro -

- Isso mesmo, Pedro. O que se tem hoje são alguns sistemas simples para movimentar líquidos em nano escala, que são usados por exemplo para misturar substâncias químicas em um chip. Esses sistemas são uma integração de várias operações químicas como se fosse num laboratório e esse dispositivo é chamado de *laboratório em chip* (em inglês se diz - **lab on a chip**). Mas nanomáquinas complexas para executar muitas funções, como um robô ou como no filme Viagem Fantástica, ainda não são realidade.

- Então professor, a maior parte das aplicações da nanotecnologia hoje em dia são nos nanomateriais e nanodispositivos simples?

- Isso mesmo, Pedro. Vou lhe mostrar algumas aplicações interessantes dos nano materiais e nano dispositivos. Tenham paciência

que vou contar muitas coisas! Inicialmente observem essa figura que representa graficamente as áreas de atuação da nanotecnologia e a necessidade de uma atuação em rede de pesquisadores de diferentes áreas de forma interdisciplinar:



A aplicação da nanotecnologia em medicina é chamada de Nanomedicina. As principais aplicações da Nanomedicina são o uso de nanomateriais para desenvolvimento de dispositivos de diagnóstico (nanosensores), agentes de contraste para imagens, e sistemas de carreamento e liberação de fármacos. Além disso a nanomedicina estuda os problemas de toxicidade dos nanomateriais.

As pesquisas desenvolvidas nessas áreas apresentam resultados cada vez mais promissores para o bem da humanidade. Para tanto sugiro procurarmos alguns grupos de pesquisa para obter informações. Estão de acordo?

- Certamente professor. - Respondem em coro Pedro e Vitória- Nada melhor que ver como se faz pesquisa na prática.

- Como estamos em São Carlos vamos procurar alguns grupos de pesquisa locais. Vamos amanhã ao IFSC e à EMBRAPA?

- Ótimo, Professor!

## 13ª. CONVERSA COM O PROFESSOR: Visitas ao Instituto de Física de São Carlos/USP e a Embrapa Instrumentação/São Carlos.

No dia seguinte o Professor leva os alunos aos laboratórios do IFSC onde são realizadas pesquisas de Nano Medicina e Nano toxicologia sob orientação de vários docentes como os Profs. Drs. Valter Zucolotto e Osvaldo Novais de Oliveira que explicam:

- O uso de nano materiais na indústria farmacêutica, permitiu o desenvolvimento de fármacos de liberação controlada, que são chamados de “Drug Delivery Systems”, que oferecem inúmeras vantagens quando comparados aos sistemas convencionais, diz Zucolotto. – e continua Osvaldo: -

- A finalidade da liberação controlada de fármacos é fornecer uma dose terapêutica em um local predeterminado (a nano partícula pode ter sua parte exterior preparada para a dissolução em algumas condições específicas, no estômago, por exemplo ou para reconhecer e fixar-se a órgãos ou tumores) e/ou manter a concentração do medicamento no nível terapêutico ideal. - Vitória logo pergunta -

- E onde se fazem as pesquisas? - Zucolotto responde -:

- Em vários laboratórios, como vocês podem ver: laboratório de preparação química e bioquímica, oficina de eletrônica para produzir os equipamentos necessários, sala de computadores para realização de cálculos e buscas bibliográficas, - e, continua o Prof. Osvaldo: -

- Sala limpa para obter filmes nanométricos, laboratório de microscopia eletrônica e de força atômica, sala limpa para nanopartículas

e dispositivos usando polímeros condutores, etc. Como vocês vêm envolve grande variedade de técnicas e de especialistas.

- E na área de dispositivos eletrônico? - Pergunta Pedro -

- As aplicações da nanotecnologia em equipamentos eletrônicos estão sendo desenvolvidas principalmente pelas empresas ligadas a fabricação de componentes eletrônicos. - Responde o Prof. Osvaldo - Nesta área o uso de nanotecnologia com *componentes cada vez menores* pode permitir ainda a redução de peso, volume e consumo de energia. Para tanto em nosso laboratório usamos técnicas de nano fabricação, que é um método em que se fabricam componentes nanométricos por técnicas litográficas usando máquinas controladas por computadores ou filmes nanométricos usando técnica de Langmuir - Blodgett. Em ambos os casos deve-se ter um rigoroso controle do ambiente de trabalho em salas limpas. - A seguir o Professor agradece e convida os alunos para visitarem outra instituição: a EMBRAPA Instrumentação. Lá chegando são recebidos pelo Dr. Daniel Souza Correia, pesquisador dessa Instituição, que os saúda: -

- Bem-vindos à Embrapa Instrumentação! Vamos falar de algumas aplicações da nanotecnologia na área da agricultura e qualidade de alimentos. As aplicações da nanotecnologia na área agrícola e alimentar são amplas. Na área veterinária as aplicações são semelhantes às usadas na medicina tanto no diagnóstico como na terapêutica. Na área vegetal, as pesquisas estão desenvolvendo sistemas controladores de liberação de fertilizantes e água, sensores para medidas do teor de água em solos e plantas, de nutrientes, micronutrientes e poluentes.

- E quanto à qualidade dos alimentos, Dr. Daniel, existe alguma pesquisa? - Pergunta Vitória -

- Sim, - responde Dr. Daniel - estão sendo desenvolvidos filmes comestíveis com espessura nanométrica para aumentar o tempo de

vida dos alimentos, reduzindo as perdas por apodrecimento, evaporação da água e eliminação de microrganismos. Na realidade existe muito mais pesquisas sendo realizadas nesta unidade da EMBRAPA assim como em muitas outras. Sugiro a vocês entrarem no nosso site [www.embrapa.br/tema-nanotecnologia/nota-tecnica](http://www.embrapa.br/tema-nanotecnologia/nota-tecnica) onde encontrarão mais informações. – nessa altura o professor interfere-

– Conheço esse site e me permito salientar o seguinte trecho relativo ao Laboratório de Nanotecnologia aqui existente:

*“O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), através da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), apoiou a criação, em São Carlos, do primeiro Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA), no qual foram investidos recursos de cerca de R\$ 8 milhões. O LNNA é um marco na consolidação de uma infraestrutura de equipamentos avançados e dedicados a Nanotecnologia, que tem possibilitado e ainda dará mais condições ao nosso país de avançar e gerar inovações nesta área tão promissora.*

*Suas principais linhas de pesquisas são o desenvolvimento de sensores e biossensores, aplicados ao controle de qualidade, certificação e rastreabilidade de alimentos; desenvolvimento de novos usos de produtos agrícolas, caracterização e síntese de novos materiais, como polímeros e materiais nanoestruturados com propriedades específicas, filmes finos e superfícies para fabricação de embalagens inteligentes, comestíveis e superfícies ativas; nanopartículas, compósitos e fibras para o desenvolvimento de materiais reforçados, usando produtos naturais, como fibras de sisal, juta, coco e outras para aplicações industriais; nanopartículas orgânicas e inorgânicas para liberação controlada de nutrientes e pesticidas em solos e plantas, de fármacos para uso veterinário; desenvolvimento de metodologias de nanomanipulação e nanocaracterização de materiais; nanobiotecnologia para*



*caracterização de material genético e nanomanipulação gênica; caracterização de materiais de interesse do agronegócio para obtenção de informações inéditas sobre partículas de solos e plantas, bactérias e patógenos de interesse agrícola.”*

– E assim termina o professor: – Creio ter dado a vocês uma visão das aplicações da nanotecnologia, adiantando, entretanto, que elas devem crescer muito nas próximas décadas...

– Professor, como o Sr. mesmo nos avisou, a apresentação das aplicações da nanotecnologia é bastante longa. Eu e Vitória já temos bastante material para ler, entender e escrever e assim achamos que poderíamos marcar uma reunião para outros tópicos. O Sr. concorda?

– Sim, acho que me entusiasmei demais e nem vi o tempo passar. Vocês têm razão! Nos vemos em poucos dias, certo?

– Certo! – Respondem Pedro e Vitória.

## 14<sup>a</sup>. CONVERSA COM O PROFESSOR: Nanotoxicidade

Dois dias depois Pedro e Vitória chegam cedo e aguardam o professor, que logo chega e os cumprimenta:

– Bom dia! Vamos retomar nossa conversa?

– Sim, diz Vitória. Gostaria hoje de começar a analisar os problemas que podem advir do uso de nano partículas.

– Você tem razão Vitória, sua preocupação é muito justa! Como se trata de uma nova tecnologia todo o cuidado é pouco. De fato, a nanotecnologia, apesar de ser uma área relativamente emergente tem propiciado inúmeras aplicações tecnológicas e benefícios à sociedade. Entretanto, com o aumento da utilização dos nanomateriais em escala industrial e considerando suas pequenas dimensões, tem aumentado a preocupação com eventuais riscos à saúde humana que os nanomateriais poderiam trazer. Embora o uso da nanotecnologia apresente vantagens significativas não podemos ignorar os riscos como por exemplo: possível toxicidade, ausência de biocompatibilidade dos materiais utilizados e, no caso dos medicamentos, o elevado custo de obtenção dos nanossistemas comparados com as formulações farmacêuticas convencionais.

– Mas, – pergunta Vitória –, alguns produtos derivados da nanotecnologia já estão em uso a anos. Esse uso tem se revelado tóxico em alguns casos?

– Tanto quanto eu tenho notícia não, pois a utilização de sistemas em liberação controlada vem sendo desenvolvido desde os anos 80, e envolve um vasto campo de estudos na área de nano-

partículas. Mas não existem ainda formas de avaliar o impacto dos nanomateriais ao longo do ciclo de vida de pacientes, bem como, à exposição ambiental aos nanomateriais. As pesquisas caminham, mas faltam programas estratégicos de pesquisa sobre os riscos da nanotecnologia. Por isso, diante de aplicações novas tem-se que ter cautela enquanto não se desenvolver um protocolo de avaliação dos riscos-benefícios. Por outro lado, como já vimos os Nanomateriais têm propriedades e comportamentos muito diversos e isso dificulta a avaliação dos riscos à saúde e ao meio ambiente.

- Professor, mas essa grande preocupação poderá dificultar a realização de pesquisas na área de nanotecnologia?

- Não creio, Pedro, pois essas novas tecnologias em nanoescala estão prontas para se tornarem em uma plataforma estratégica para que, nos próximos anos, o setor industrial tenha controle global nas mais diversas áreas. Por exemplo, controlar a cadeia de produção agrícola, a de processamento de alimentos e a da saúde. Por essa razão é muito importante desenvolver uma competência nacional nessas tecnologias.

- E o que fazer? - pergunta Vitória - Os pesquisadores nessa área terão que correr grandes riscos?

- Não creio Vitória, porque os experimentos em escala de laboratório utilizam quantidades relativamente pequenas de materiais nanométricos. Certamente precauções básicas deverão minimizar os riscos e, principalmente um comportamento ético em relação aos usos dos produtos pela sociedade. Esse aspecto tem reocupado os cientistas no Brasil e no exterior. Creio que H. Toma, professor titular do Instituto de Química/USP, expressa muito bem essa preocupação quando ele diz que:

*“A ciência tem que ser interpretada por pessoas conscientes, coerentes e bem informadas. A população tem que ser bem informada e formada cientificamente (...). No caso da nanotecnologia, a população tem que conhecer os riscos sim, mas também os avanços (...). É justamente pelo conhecimento desses riscos que o homem pode atuar com racionalidade (...). É por isso que eu defendo a necessidade de se pautar a ética da ciência na filosofia humanista. Se o homem não tiver auto respeito e respeito pelo seu conhecimento, pelos seus valores, não tem sentido falar em ética.” (TOMA, 2004, p.98.)*

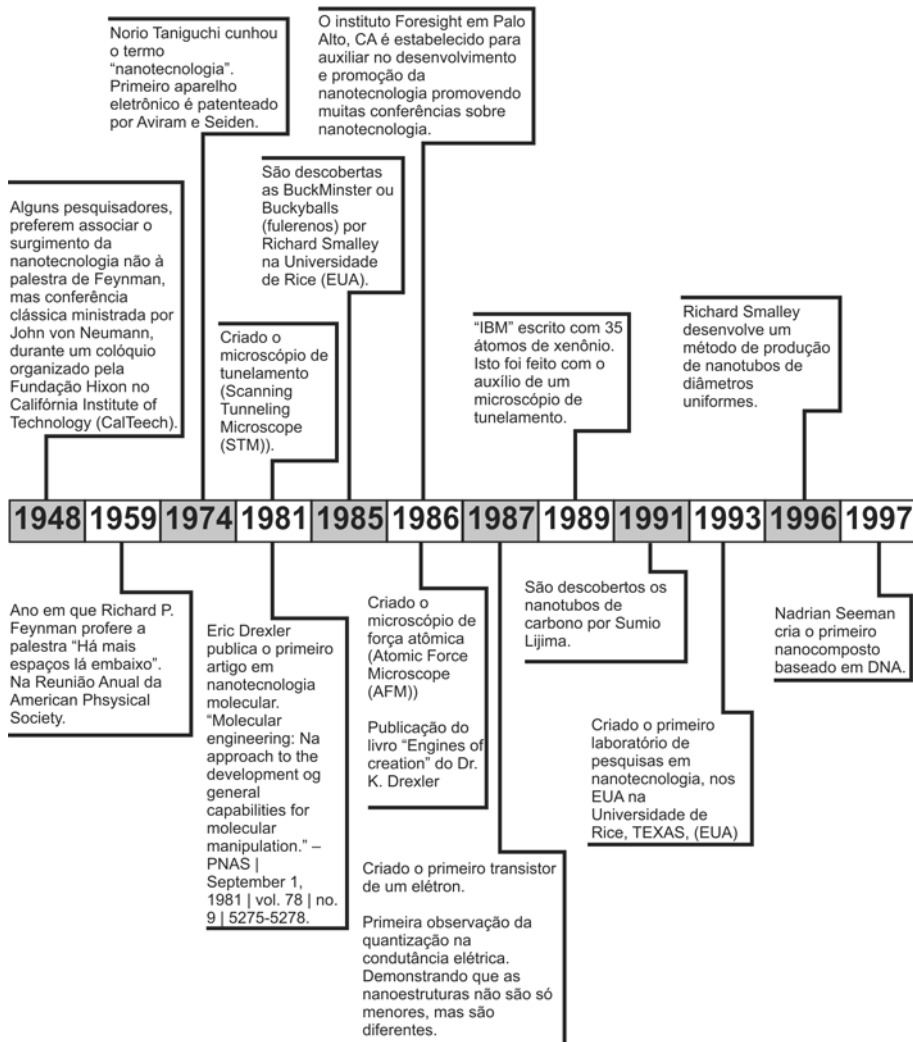
Assim, a comunidade científica internacional, inclusive com intensa participação de pesquisadores brasileiros de universidades, institutos de pesquisa e órgãos do governo, tem se dedicado a estudos relacionados a aspectos de toxicidade dos nanomateriais. Por exemplo, a regulamentação e liberação de nanomateriais empregados para a área médica e alimentícia, que são áreas bastante “sensíveis” e que demandam estudos prolongados, depende de autorização de agências reguladoras federais, no caso dos USA, o FDA – (Food and Drugs Administration), e no Brasil a ANVISA (Agência de Vigilância Sanitária). Essas agências, contudo, só podem decidir sobre como fazer políticas de regulação para proteger a saúde e meio ambiente através de pesquisas realizadas pela academia. Um exemplo dessas pesquisas é a que acontece nos laboratórios do Grupo de Nanomedicina e Nanotoxicologia (GNano), do IFSC-USP. Nesse grupo, várias nanopartículas são analisadas todos os dias na presença de células humanas, algas e peixes para avaliação de sua toxicidade.

– Professor, eu e Vitória vamos continuar muito interessados no desenvolvimento da Nanotecnologia e, suas últimas palavras, citando Henrique Toma, serão muito importantes para nossos futuros

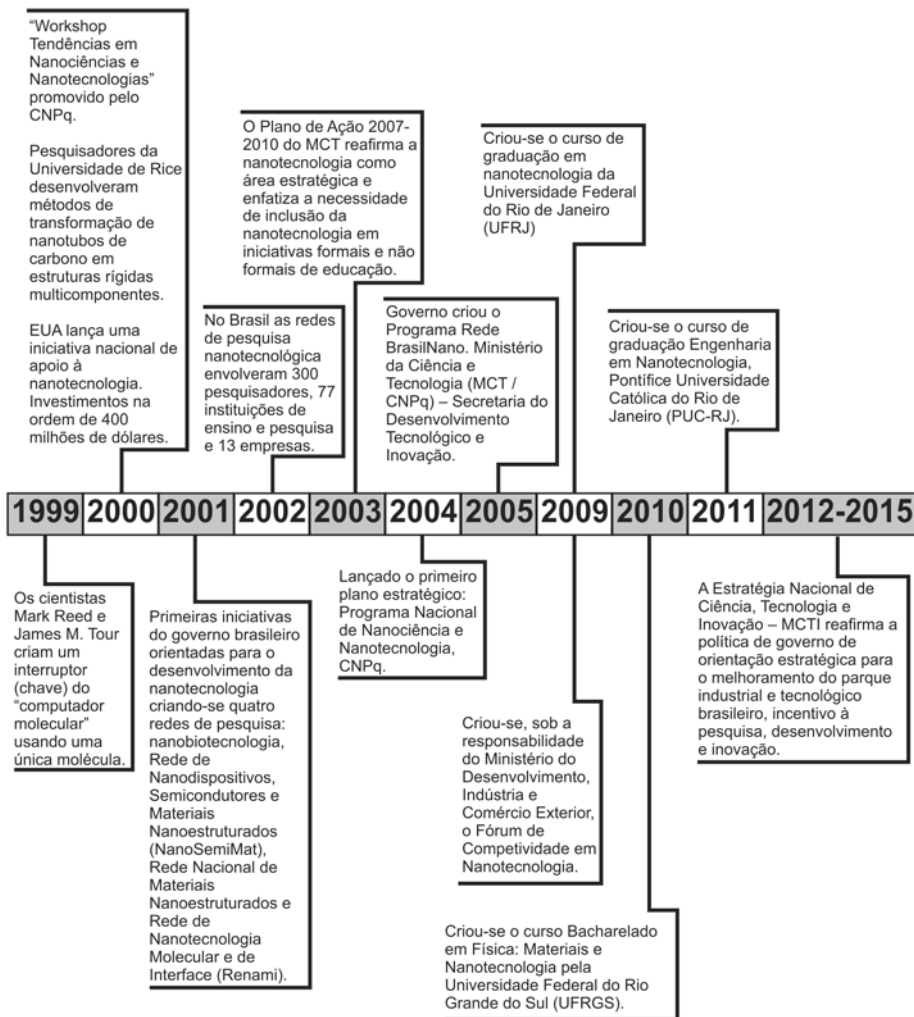
estudos e procedimentos profissionais e sociais. – E então falam em coro: – Muito obrigado PROFESSOR!

# APÊNDICE

Eventos que marcaram e influenciaram o desenvolvimento da nanotecnologia:



# UMA VIAGEM PELA LINHA DO TEMPO DA NANOTECNOLOGIA



## REFERÊNCIAS

ALLEN JR. L; POPOVICH, N. G.; ANSEL, H. C. A. *Formas farmacêuticas e sistemas de liberação de fármacos*. 8.ed. São Paulo: Premier, 2007.

ARRUDA, Felipe. *A história dos processadores*. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/historia/2157-a-historia-dos-processadores.htm>>. Acesso em> 28 set. 2015

BERGAMAN, B. R.; LIMA, J. M. B. *Chips de neuromemória: realidade ou ainda ficção científica?* Disponível em: <[http://www.olharvital.ufrj.br/2006/index.php?id\\_edicao=088&codigo=4](http://www.olharvital.ufrj.br/2006/index.php?id_edicao=088&codigo=4)>. Acesso em: 28 set.2015.

CELULAS sanguíneas. Disponível em:<<https://goo.gl/6q6BMJ>>. Acesso em: 28 set. 2015.

CELULAS vegetais. Disponível em: <<http://educador.brasile Escola.com/estrategias-ensino/celulas-vegetais.htm>>. Acesso em: 28 set.15

DEDAVID B.A.; GOMES C.I.; MACHADO G. *Microscopia Eletrônica de Varredura*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DURAN, N.; MATTOSO, L. H. C. MORAIS, P.C. *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Editora Artliber, 2006.

ESPECTRO eletromagnético. Disponível em: <<https://goo.gl/9RM23k>>. Acesso em: 28 set. 2015.

FOTOMICROGRAFIAS. Disponível em: <<http://goo.gl/6BY2Yv>>. Acesso em: 28 set.2015.

FING, H. W.; SCHONENBERGER, C. Electrical conduction through DNA molecules. *Nature*, v.398, p.407-410, Apr.1999. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v398/n6726/pdf/398407a0.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2015.

GENNARO, A. R. R. *A ciência e a pratica da farmácia*. 20 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

GRAFENE sensor detects malária infection. Disponível em: <[http://newshub.nus.edu.sg/headlines/0212/graphene\\_09Feb12.php](http://newshub.nus.edu.sg/headlines/0212/graphene_09Feb12.php)>. Acesso em: 28 set. 2015.

GRAFENO. Disponível em:<<https://goo.gl/bnqsVn> >. Acesso em: 28 set. 2015.



HELTHEO360. Detect câncer with nano-chips. Disponível em: <<http://www.healtheo360.com/blog/5142/detect-cancer-nano-chips/>>. Acesso em: 28 set. 2015.

INFRAESTRUTURA tecnológica de las computadores. Disponível em: <<https://bart2603.wordpress.com/>>. Acesso em: 28 set. 2015.

MEMBRANA da célula. Disponível em: <[http://www.guia.heu.nom.br/membrana\\_da\\_celula.htm](http://www.guia.heu.nom.br/membrana_da_celula.htm)>. Acesso em: 23 abr. 2015.

NANOTECNOLOGIA e suas aplicações na saúde. Disponível em: <<http://goo.gl/dNXa4h>>. Acesso em: 28 set. 2015.

NOBEL: eles revolucionaram os eletrônicos. Disponível em: <<https://goo.gl/d6a10l>>. Acesso em: 28 set. 2015.

OZIN, G. A.; ARSENAULT, A. C.; CADEMARTINI, L. *Nanochemistry: a chemical approach to nanomaterials*. 2nd ed. Cambridge: RSC Publishing, 2009.

PIMENTEL, L.F. et al. Nanotecnologia farmacêutica aplicada ao tratamento da malária. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. São Paulo, v.43, n.4, 2007.

RAMOS, B. G. Z.; PASA, T. B. C. O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos. *Revista Brasileira de Farmácia*, n. 89, p.95-101, 2008.

RESISTORES comerciais. Disponível em: <<https://goo.gl/pUAC7x>>. Acesso em: 28 set. 2015.

RESOLUÇÃO espacial em microscopia de contato. Disponível em: <<https://goo.gl/VgpPw3>>. Acesso em: 28 set. 2015.

SACCO, F. *A história do primeiro transistor*. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/a-historia-do-primeiro-transistor/>>. Acesso em: 28 set. 2015.

SANTOS, Marco Aurélio Da Silva. *A dispersão da luz branca*. Disponível em: <<http://www.brasile Escola.com/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>>. Acesso em 29 de setembro de 2015.

THE MAGAZINE of Engineering and the Sciences at uc Santa Barbara. Disponível em: <<http://convergence.ucsb.edu/article/share-and-share-alike>>. Acesso em: 28 set. 2015.

TOMA, H. E. A ética na pesquisa e o futuro da nanotecnologia. \_\_\_\_\_ *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. São Paulo: Oficina dos Textos, 2004. p. 98-99

WATANABE, H. et al. Electric measurements of nano-scaled devices. *Thin Solid Films*, v.438-439, p.462-466,2003.doi:10.1016/S0040-6090(03)008006-X.

WIKIPEDIA. Lei de Moore. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Moore](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Moore)>. Acesso em: 28 set. 2015.

ZACHARIAS Janssen (1590). Disponível em: <<https://goo.gl/1gD77J>>. Acesso em: 28 set. 2015.

ZUCOLOTTTO,V. *A medicina invisível da nanotecnologia*. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/saude/a-medicina-invisivel-da-nanotecnologia-enczl3t93bpkwjtsglymmlz66>>. Acesso em: 23 set. 2014.