



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BREVES
FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS

DENISON CARVALHO ROCHA

NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: PROJETOS, INVESTIMENTOS E
APLICAÇÕES EM ELETRÔNICA MOLECULAR

BREVES/PA
2015

DENISON CARVALHO ROCHA

**NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: PROJETOS, INVESTIMENTOS E
APLICAÇÕES EM ELETRÔNICA MOLECULAR**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Naturais da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Licenciado em Ciências Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto B. da Silva Jr.

BREVES/PA
2015

DENISON CARVALHO ROCHA

**NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA: PROJETOS, INVESTIMENTOS E
APLICAÇÕES EM ELETRÔNICA MOLECULAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Ciências Naturais da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Ciências Naturais, aprovado com o conceito _____ .

Banca examinadora:

Prof. Dr. Carlos Alberto B. da Silva Jr. (**Orientador**)
(**Faculdade de Geoprocessamento – Campus de Ananindeua/UFPA**)

Prof. Josiney Farias de Araújo (**Membro externo**)

Prof. André Luiz Sozinho de Matos (**Membro externo**)

Breves - Pá, 21 de abril de 2015.

Dedico este trabalho a meus pais Raimundo Ferreira e Maria Carvalho; aos meus avós M^a de Nazaré Carvalho e José Correa ao meu irmão Denilson Rocha e especialmente à minha querida namorada Daiane Lima.

Denison Carvalho Rocha

Agradecimentos

Primeiramente a Universidade Federal do Pará-UFPA pela oportunidade e pelo suporte durante toda a minha formação acadêmica.

Ao professor Carlos Alberto B. da Silva Jr. exemplo de pessoa, pela contribuição como professor e pela orientação para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais Raimundo Ferreira e Maria Carvalho pela paciência, apoio financeiro, carinho, e incentivo para conclusão.

Especialmente a pessoa que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis da vida, me incentivando e apoiando para seguir em frente a minha querida namorada Daiane Lima.

A meus avós José Correa Filho (em memória) e Maria de Nazaré Correa pelo apoio, conselhos e companheirismo.

Aos meus colegas de turma, onde compartilhamos momentos de dificuldades e companheirismo nos quatros anos de vida acadêmica.

Em nome de todos meus irmãos Denilson Rocha pelo apoio e amizade, exemplo de estudante.

A minha tia Socorro Correa pelo apoio financeiro e incentivo nos momentos que necessitei para seguir em frente.

A todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização de mais esta etapa da vida estudantil.

A todas as pessoas citadas os meus mais sinceros agradecimentos por fazerem parte de mais uma etapa da vida.

Sumário

Lista de Figuras.....	vii
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	ix
Resumo.....	x
Abstract.....	xi
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Geral.....	2
1.1.2 Específicos.....	2
1.2 Justificativas.....	2
1.3 Metodologia.....	3
CAPÍTULO 2 - CONCEITO HISTÓRICO DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA.....	4
2.1 Evolução dos Modelos Atômicos.....	4
2.2 Breve Histórico da Microeletrônica a Nanoeletrônica.....	6
2.3 Evolução dos Microprocessadores.....	11
CAPÍTULO 3 - PROPRIEDADES DA MATÉRIA EM ESCALA NANOMÉTRICA ...	13
3.1 Transformações da Matéria em Escala Nanométrica.....	13
3.2 Métodos de Fabricação na Escala Nanométrica.....	13
3.2.1 Top Down.....	14
3.2.2 Bottom Up.....	15
3.3 A Mecânica Quântica nas Explicações da Nanociência e Nanotecnologia.....	15
3.4 Nanotecnologia Computacional.....	16
CAPÍTULO 4 - INVESTIMENTOS EM NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA.....	17
4.1 Maiores Investidores em Nanotecnologia.....	17
4.2 Investimentos em Nanotecnologia no Brasil.....	20
4.3 Empresas de Nanotecnologia Global.....	22
4.4 Exemplos de Aplicações em Dispositivos Nanoeletrônicos.....	23
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	26
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS.....	28

Lista de Figuras

- Figura 01:** Modelo ilustrativo do átomo de Rutherford e as partículas subatômicas.....5
- Figura 02:** Imagem do primeiro computador (ENIAC), que pesava 30 toneladas e tinha 5,5m de altura, 25m de comprimento.....6
- Figura 03:** Primeiro transistor montado em 1947 nos laboratórios da Bell e ao lado a capa da revista “electronics” comemorando a conquista.....7
- Figura 04:** Esquema de funcionamento do Microscópio de Varredura por Tunelamento (STM) e ao lado fotografia do mesmo.....8
- Figura 05:** Logomarca da IBM escrita através do posicionamento 35 átomos de Xenônio sobre uma superfície de Níquel no laboratório da IBM em Almaden Califórnia.....9
- Figura 06:** Primeiro transistor desenvolvido de nanotubo de carbono na Universidade de Tecnologia Delft na Holanda.....9
- Figura 07:** Ilustração da evolução para a miniaturização de dispositivos.....11
- Figura 08:** Projeção da lei de Moore para memória e microprocessadores Intel®, atualmente a lei de Morre ainda continua. (retirada da FEEC - Unicamp).....12
- Figura 09:** Métodos para obtenção de dispositivos em escala nanométrica.....14
- Figura 10:** Países líderes em produção científica em nanoeletrônica com destaque para o EUA em primeiro lugar no *ranking*, com base nestes dados o Brasil ocupa a 17^a posição no período de 1996-2006.....18
- Figura 11:** Principais empresas líderes em nanoeletrônica, em primeiro lugar no *ranking* lidera a Alcatel-Lucent francesa, em seguida estão cinco norte americanas. 1987-2006.....20
- Figura 12:** Relação de patentes relacionadas à Nanotecnologia no Brasil.....21
- Figura13:** Principais empresas de Nanotecnologia em escala global.....22

Figura 14: Chip de memória desenvolvido pela Samsung do tamanho de um selo postal com capacidade de 8 mil megabytes.....23

Figura 15: Imagens da língua eletrônica desenvolvida pela EMBRAPA, que é formada por um conjunto de sensores que tenta imitar o funcionamento da língua humana.....24

Figura 16: (a) Primeiro transistor 3D desenvolvido por um grupo de pesquisadores brasileiros da UNICAMP e USP. (b) Imagem do grupo que desenvolveu ele.....25

Lista de Siglas e Abreviaturas

AFM	Atomic Force Microscopy.
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial.
CTs	Circuitos Integrados.
CINano	Comitê Interministerial de Nanotecnologia.
EUA	Estados Unidos da América.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FEEC	Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.
GFMA	Grupo de Física de Materiais da Amazônia.
GF	Governo Federal.
LNLS	Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.
MCTI	Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação.
N &N	Nanociência e Nanotecnologia.
NM	Nanômetro.
PADCT	Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
STM	Scanning Tunneling Microscopy.
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas.
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro.
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais.

Resumo

A Nanociência e Nanotecnologia (N & N) é um campo de pesquisa multidisciplinar, com destaque para Química e Física, por meio de cálculos matemáticos podem ser estudados as transformações da matéria em escala atômica e molecular, já as engenharias são responsáveis em desenvolver produtos a partir da Nanotecnologia e a computação por meio de software para fazer simulações em Nanociência com o objetivo de entender o comportamento da matéria e suas transformações. Um dispositivo nanométrico deve estar em uma escala de aproximadamente 1 a 100nm. Este trabalho irá abordar as aplicações de N & N na eletrônica molecular, sendo uma área promissora para se desenvolver dispositivos altamente eficientes, como exemplo, nanotubo de carbono pode ser utilizado para produzir dispositivos em nanoeletrônica (nanotransistor, nanodiodo, etc.) com alta resistência mecânica, grande flexibilidade, que suporte altas temperaturas e alta capacidade de transportar corrente elétrica. Entre os maiores investidores em N & N estão os EUA e Japão, especificamente em aplicações de dispositivos nanoeletrônicos. Já os investimentos do Governo Federal (GF) no Brasil ainda é pouco comparado com essas potências, porém as instituições públicas com maior destaque dentre outros grupos que desenvolvem estudos e pesquisa voltadas para Nanotecnologia estão UFRJ, UNICAMP, UFMG e EMBRAPA.

Palavras - chave: Investimentos; Dispositivos; Nanoeletrônica; Escala Atômica e Molecular.

Abstract

Nanoscience and Nanotechnology (N & N) is a multidisciplinary research field, especially chemistry and physics, through mathematical calculations can be studied the transformations of matter on an atomic and molecular scale, in the engineering are responsible to develop products from Nanotechnology and computing through software to do simulations in Nanoscience in order to understand the behavior of matter and its transformations. A nanometer device should this on a scale of approximately 1 to 100 nm. This work will address N & N applications in molecular electronics, being a promising area to develop highly efficient devices, for example, carbon nanotubes can be used to produce nanoelectronic devices (nanotrasistor, nanodiodo, etc.) with high resistance mechanical, highly flexible, supporting high temperatures and high ability to carry electrical current. Among the biggest investors in N & N are the USA and Japan, specifically in nanoelectronic devices applications. Have the federal government investments (GF) in Brazil is still small compared with those powers, but the public institutions most notably among other groups that develop studies and research focused on Nanotechnology are UFRJ, UNICAMP, UFMG and EMBRAPA.

Key - words: Investments; Devices; Nanoelectronics; Atomic and Molecular Scale.

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

Embora a manipulação em escala nanométrica fosse fictícia devido às limitações tecnológicas para desenvolvimento de experimento e estudo nesta dimensão, mesmo sem saber o homem vem manipulando a matéria nesta escala há muito tempo, na fabricação de materiais para atender suas necessidades e melhorar seu conforto, um exemplo clássico de manipular a matéria, esta na confecção de utensílios de argila há séculos e também na incorporação de partículas em vidros para criação de vidros de diferentes cores. A Nanociência e Nanotecnologia (N & N) oferece uma nova perspectiva em manipular a matéria em escala atômica e molecular.

A matéria em escala nanométrica sofre alterações bruscas em sua propriedade Física formando materiais com propriedades diferenciadas se compararmos com a matéria em escala micro. Como o nanotubo de carbono que promete ser promissor nas próximas décadas. Utilizando a manipulação da matéria é possível criar dispositivos a partir de unidades estruturais fundamentais ou blocos de construção de átomos por meio da construção de baixo para cima (bottom-up) ou de cima para baixo (top-down) até surgir dispositivos em escala nanométrica.

No entanto, esta ciência vem nos últimos anos passando por inúmeras descobertas em como manipular a matéria na escala molecular e atômica, o pesquisador que apresentou as primeiras perspectivas em N & N foi o físico Richard Feynman em 1959 tempos depois Norio Taniguchi em 1974, surge com o conceito de Nanotecnologia que seriam dispositivos ou máquinas com tolerância menor que um micron. (ABDI, 2008-2025)

A N & N podem ser aplicadas em diverso ramo da ciência, mas este trabalho aborda exclusivamente a Nanotecnologia na aplicação de dispositivos nanoeletrônico. Graças aos estudos em dispositivos em escala nanométrica foi possível construir dispositivos altamente eficientes com baixo consumo de energia e com grande capacidade de processamento. Antes da descoberta do primeiro transistor em 1947 os computadores eram compostos por válvulas, era uma tecnologia com alto consumo de energia e pouca capacidade de processamento, sendo considerada por muito ineficiente para o mercado da época, com o surgimento do transistor foi possível desenvolver computadores altamente eficientes e com baixo consumo de energia. As aplicações da N & N em dispositivos nanometricos promete se promissor para os próximos 20 anos, pois através da Nanotecnologia é possível desenvolver dispositivo altamente eficiente com baixo consumo energético e com alta capacidade de processamento e armazenamento como os microprocessadores.

Através da Nanotecnologia tornou possível desenvolver dispositivos em escala nanométrica, como nanotransistores, nanodiodos entre outros dispositivos para aplicações em nanoeletrônica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O principal objetivo deste trabalho é fazer um estudo teórico das perspectivas da N & N e suas aplicações em eletrônica molecular.

1.1.2 Específicos

Mostrar as transformações da matéria em escala nanométrica e as propriedades adquiridas quando se desenvolve dispositivos nessa escala;

Mostrar a evolução histórica da microeletrônica e seu avanço para o desenvolvimento da nanoeletrônica;

Mencionar os principais países que fazem investimentos e desenvolvem pesquisas voltadas para nanoeletrônica, também os investimentos do Brasil e os principais grupos que desenvolvem pesquisa em nanoeletrônica.

1.2 Justificativas

Devido o termo N & N ser desconhecido pela maioria das pessoas e estar associado com algo extremamente minúsculo sendo considerado o bilionésimo ($1/1.000.000.000$ m) do metro. Portanto a escala nanométrica é bastante complexa, por isso surgiu à necessidade de fazer um estudo teórico abordando N & N e suas aplicações em eletrônica molecular.

As perspectivas em N & N vêm sendo bastante difundidas principalmente por grupos de pesquisa interessados em desenvolver materiais com propriedades diferenciadas, a partir da matéria na escala nanométrica.

Um dos ramos que mais são desenvolvidos pesquisas em N & N é na aplicação da eletrônica molecular, pois os dispositivos na escala nanométrica possuem propriedades diferenciadas com alta capacidade de processamento, extremamente resistente ao calor, com baixo consumo de energia e alta capacidade de transporte de corrente elétrica.

1.3 Metodologia

Este trabalho é resultado de revisões de vários artigos e livros publicados envolvendo N & N e suas aplicações em nanoeletrônica. A principal ferramenta para realização da pesquisa foi à internet.

Quando buscamos no site www.google.com, utilizando a palavra Nanotecnologia são encontradas mais de 150 mil referências. Em inglês, quando a palavra Nanotechnology é utilizada, são encontrados mais de 16 milhões de resultados principalmente publicações de instituições dos Estados Unidos e Japão que são os países que mais investe em N & N.

No Brasil, o Ministério da ciência Tecnologia e Inovação (MCTI) publicou a partir do ano 2000 vários trabalhos abordando investimento governamental e os principais grupos de pesquisa do País que publicam na área dentre eles estão UNICAMP, UFMG, UFRJ, etc. e suas perspectivas para os próximos 20 anos.

Também foram encontrados alguns trabalhos do Grupo de Física de Materiais da Amazônia (GFMA), coordenado pelos professores Dr. Jordan Del Nero, Petrus Alcântara e Sanclayton Carneiro e do Grupo de Nanotecnologia Aplicada da Amazônia (GNAA), coordenado pelo prof. Dr. Jordan Del Nero que trabalha na área propondo metodologias e aplicações no transporte eletrônico em moléculas (eletrônica molecular ou nanoeletrônica) vinculado a UFPA.

CAPÍTULO 2 - CONCEITO HISTÓRICO DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

2.1 Evolução dos Modelos Atômicos

Desde a antiguidade mais remota o homem se perguntava: De que era constituído a matéria que estava ao seu redor? Os Filósofos gregos Demócrito de Abdera e Leucipo de Mileto afirmavam que a matéria era constituída por minúsculas partículas indivisíveis, com isso surgem a primeira visão de átomo, que em grego *a* significa não e *tomos* significa divisível.

Em 1803, o químico e físico inglês John Dalton propôs o primeiro modelo científico atômico afirmando que o átomo seria a menor partícula da matéria indivisível e indestrutível. Mas somente a partir de 1805 que seu modelo passou a ser reconhecido graças ao trabalho publicado por Albert Einstein que explicava o movimento browniano como sendo oriundo de colisões entre átomos, seu modelo proposto ficou conhecido como modelo de bola de bilhar e foi baseado em experimento de química que envolvia reações e suas leis.

No finaldo século XIX o modelo de Dalton sofreu transformações bruscas, propostas pelo físico inglês J. Thomson através de um experimento que envolvia descargas elétricas (raios catódicos) ele descobriu que esses raios podiam ser interpretados como sendo um feixe de partículas carregadas de cargas elétricas negativas denominadas de elétrons. Segundo ele o átomo era divisível, pois apresentava um aglomerado composto de uma parte de partículas positivas pesadas (prótons) e de partículas negativas leves (elétrons) e nêutrons. Ele comparou seu modelo com um “pudim de passas.” (ABDI, 2010)

Em 1911, Rutherford estudou a trajetória de partículas α (partículas positivas) emitidas pelo elemento radioativo Polônio, quando bombardeava uma fina lâmina de Ouro. Ele fez três observações e a maioria das partículas α atravessavam a lâmina de Ouro sem sofrer desvio em sua trajetória, logo ele concluiu que havia uma grande região vazia, onde se encontravam os elétrons, que passou a chamar eletrosfera. Também foi possível observar que algumas partículas sofriam desvio em sua trajetória, ao passar na região central haveria uma repulsão das cargas positivas em uma região central pequena também positiva (onde se localizavam os prótons) e neutra (onde se localizavam os nêutrons) que denominou núcleo.

Um número muito pequeno de partículas α colidia a lâmina de Ouro e voltava, portanto a região central seria pequena e densa, sendo composta, portanto, por prótons e nêutrons.

Através de seu experimento Rutherford concluiu que a lâmina de Ouro era constituída de átomos formados por um núcleo muito pequeno e denso com cargas positivas (prótons) e ao seu redor existia uma grande região carregada com cargas negativas (elétrons) em que estariam realizando trajetórias circulares em torno do núcleo, pois se estivesse paradas acabariam se colidindo com o núcleo (positivo), esta região foi denominada de eletrosfera.

Como podemos observar que de acordo com a evolução dos equipamentos eletrônicos de alta precisão, como o microscópio de varredura, mais descobertas foram feitas, através dele é possível ter dimensão mas precisa da estrutura do átomo. O modelo atômico clássico de Rutherford esta ilustrado na figura 1:



Fonte: retirada do Instituto Inovação

Figura 01: Modelo ilustrativo do átomo de Rutherford e as partículas subatômicas.

O modelo proposto por Rutherford foi aperfeiçoado em 1913, por Niels Bohr, um cientista dinamarquês que se baseou nos estudos feitos em relação ao espectro do átomo de Hidrogênio e na teoria proposta por Max Planck em 1900 surgimento da Teoria Quântica, pra explicar o problema da radiação do corpo negro, segundo a qual a energia não é emitida em forma contínua, mas em "pacotes", denominados quanta de energia. Segundo ele os elétrons executam movimentos circulares e (orbitam) nas camadas ou níveis de energia, cada camada suportaria um determinado número de elétrons. Na década de 1960, o físico Murray Gell-Mann descobriu que os prótons e nêutrons não são partículas elementares, mas na colisão delas poderiam produzir partículas ainda menores denominadas quarks. (Valadares *et al.*, 2005).

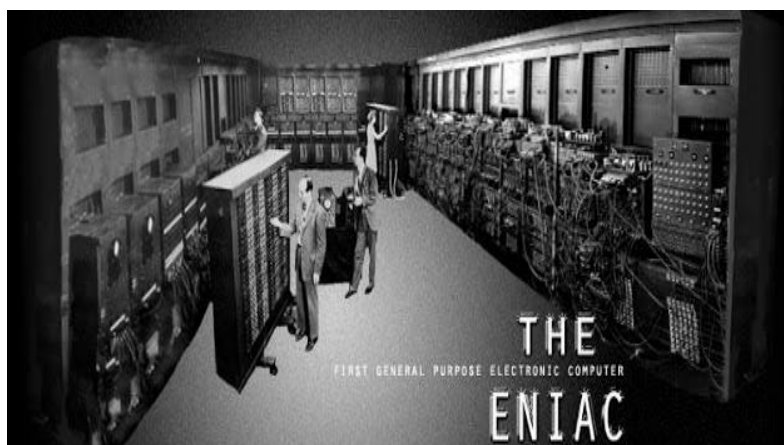
Segundo este modelo, o átomo é constituído pelo núcleo que é constituído por prótons (partículas com carga positiva) e nêutrons (partículas com carga neutra); os elétrons não têm órbitas bem definidas, realizam movimentos perpendiculares em torno do núcleo do átomo; há elétrons que se encontram preferencialmente mais próximos do núcleo e outros que se

encontram preferencialmente mais afastados, o núcleo é muito pequeno quando comparado com o tamanho da nuvem eletrônica, por isso que a maior parte do átomo é formado de espaço vazio.

2.2 Breve Histórico da Microeletrônica a Nanoeletrônica

No decorrer da história vários cientistas principalmente da área da eletrônica estudavam a matéria com o objetivo de desenvolver materiais em grande escala com baixo consumo de energia, mais eficientes e de fácil transporte. Vários Institutos Tecnológicos e Universitários principalmente norte americanos, também a iniciativa privada desenvolviam estudo e pesquisa em busca de avanços tecnológicos especialmente em eletrônica. Com o surgimento do primeiro computador digital eletrônico de grande escala, ENIAC (Eletrical Numerical Integrator and Calculator) desenvolvido na Universidade da Pensilvânia em 1943, que tinha em torno de 18.000 válvulas, 15.000 relés e emitia o equivalente a 200.000 Watts de potência, pesava aproximadamente 30 toneladas e ocupava um andar de um edifício. Sua conclusão foi enunciada em 02/1946, sendo patenteado em 26/06/1947 com o registro nº 3.120.606.

Thomas J. Watson, diretor da IBM na época, logo percebeu que era difícil colocar este computador no mercado, (ver figura 02), pois eram máquinas muito pesada e pouco eficiente, se compararmos com os computadores atuais.

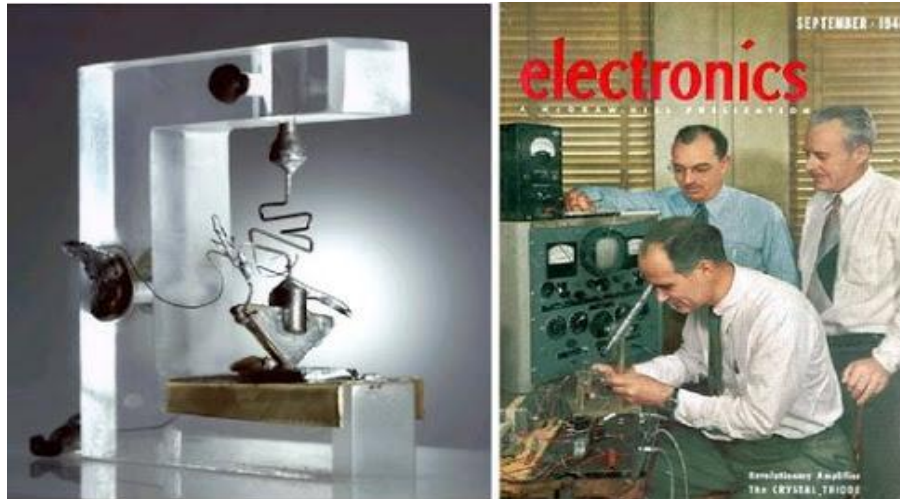


Fonte: the-eniac.com

Figura 02: Imagem do primeiro computador (ENIAC), que pesava 30 toneladas e tinha 5,5m de altura, 25m de comprimento.

Em 1947, a indústria eletrônica faz uma grande descoberta proposta por William Schockley, John Bardeen e Walter Brattain apresentando o primeiro transistor, (ver figura 03)

desenvolvido nos laboratórios da Bell Telephone. Esse dispositivo foi a maior descoberta na época, pois a partir dele foi possível construir um computador com alta capacidade de calcular e processar dados e com baixo consumo de energia sem falar que tornou possível construir computadores bastante leves. Com essa descoberta esses pesquisadores receberam o prêmio Nobel de Física em 1956.



Fonte: www.c2o.pro.br

Figura 03: Primeiro transistor montado em 1947 nos laboratórios da Bell e ao lado a capa da revista “electronics” comemorando a conquista.

Neste mesmo ano o pesquisador japonês Leo Esaki, da empresa eletrônica Sony Corporation descobriu o fenômeno do tunelamento, (em objetos túnel) no qual era possível demonstrar a passagem de elétrons. (Granhén, 2013)

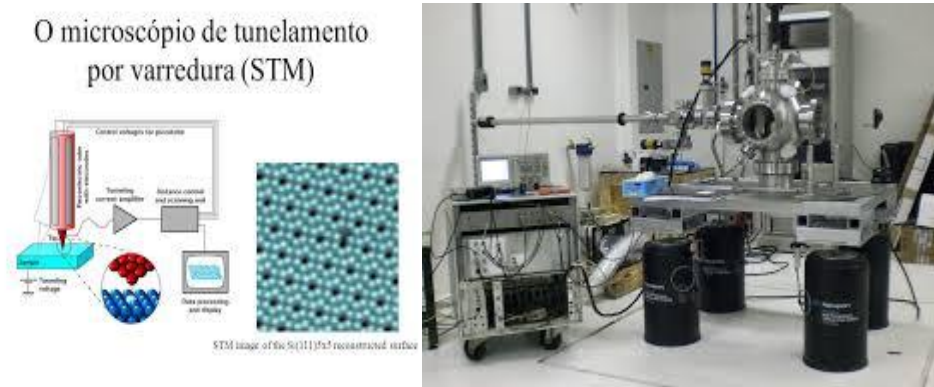
Em 1959 o físico norte americano Richard Feynman em sua palestra “*There`s Plenty of Room at the Bottom*” (Há muito espaço lá em baixo) que ocorreu no Encontro da *American Physical Society* (Sociedade Americana de Física) realizado no Instituto Tecnológico da Califórnia, ele propôs que era possível escrever na cabeça de um alfinete todos os 24 volumes da enciclopédia Britânica usando uma escala de 25.000.000 vezes menores que o real, ou seja letras com 8nm, merece destacar que isso seria possível se conseguíssemos manipular átomos e moléculas. Para Feynman as dificuldades em manipular a matéria nesta dimensão estaria relacionado a visualização, pois a matéria em escala nanométrica é extremamente minúscula(Center, 2005).

Em 1962, foram produzidos os primeiros transistores para uso comerciais. Neste mesmo ano a Philco desenvolve os primeiros semicondutores comercializados no Brasil, fazendo uma revolução nos CI's.

Em 1974, o cientista Norio Taniguchi da Universidade de Tóquio-Japão palestrou pela primeira vez usando o termo Nanotecnologia em uma conferencia internacional de engenharia de produção, ele foi o primeiro a desenvolver trabalho em processamento usando alta pressão.

Um fator essencial para o avanço da (N & N) foi o surgimento em 1981 do Microscópio de Varredura por Tunelamento (STM) desenvolvido por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, no laboratório da IBM em Zurich-Suíça por causa do desenvolvimento desse equipamento eles receberam o prêmio Nobel de Física em 1986.

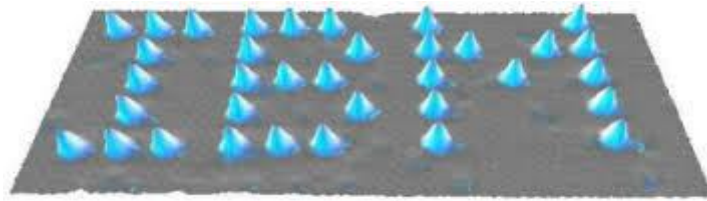
O mecanismo de funcionamento do STM é bastante simples, baseado no funcionamento dos antigos toca-discos, uma agulha extremamente fina, cuja ponta é constituída de alguns poucos átomos ou até mesmo de um único átomo, "tateia" uma superfície sem nela tocar em uma distância de aproximadamente um nanômetro. Como podemos observar na figura 04:



Fonte: tuningpp.com

Figura 04: Esquema de funcionamento do Microscópio de Varredura por Tunelamento (STM) e ao lado fotografia do mesmo.

Em 1986, Gerd Binnig desenvolveu o Microscópio de Força Atômica (AFM) ele permitia retirar átomo por átomo ou molécula de um local para outro. Isso foi demonstrado por Donald M. Eigler em 1990, no laboratório da IBM em Almaden, Califórnia, ocasião em que a logomarca da IBM foi escrito espetacularmente através do posicionamento de 35 átomos de Xenônio sobre uma superfície de Níquel. Ver figura 05.



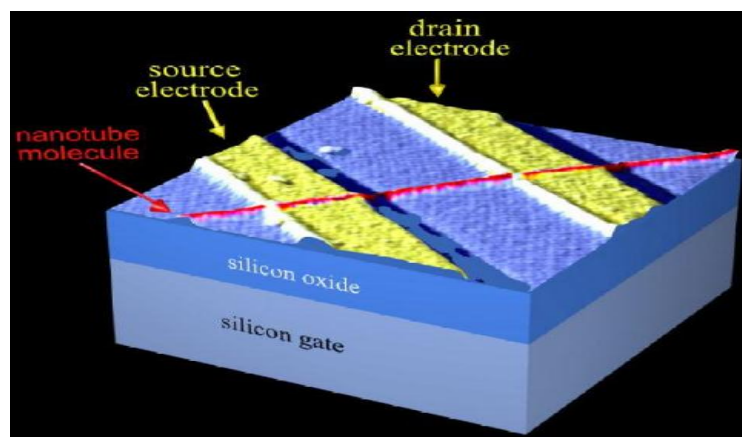
Fonte: site da IBM

Figura 05: Logomarca da IBM escrita através do posicionamento 35 átomos de Xenônio sobre uma superfície de Níquel no laboratório da IBM em Almaden Califórnia.

Estes equipamentos possibilitaram a visualização do átomo e através deles tornou possível move-lo um por um quando aplicado uma tensão elétrica extremamente alta. Antes do desenvolvimento do STM, AFM e certos softwares a N & N por mais que já tivessem evidencias desse ramo não poderia ser demonstrado, pois a escala nanométrica é extremamente minúscula. Nano – significa ‘anão’, em grego, é o prefixo usado na notação científica para expressar um bilionésimo do metro. Nesta dimensão fenômenos quânticos ocorre, onde os materiais nessa escala podem perder suas propriedades físicas.

Em 1991, Sumio Iijima da NEC em Tsukuba, Japão, faz a descoberta do nanotubo de carbono, sendo promissor para os próximos anos. Já em 1997, surge a primeira empresa em Nanotecnologia denominada ZYVEX.

Em 1998, O grupo de pesquisa CEES Dekker da Universidade de Tecnológica Delft na Holanda cria o primeiro transistor de nanotubo de carbono, (ver figura 06:) Em 2001 Pesquisadores e colaboradores da IBM desenvolve métodos para avanços e aplicação em nanotubo de carbono.



Fonte: retirada do Instituto Federal de São Carlos

Figura 06: Primeiro transistor desenvolvido de nanotubo de carbono na Universidade de Tecnologia Delft na Holanda.

Principais acontecimentos que marcaram a Nanotecnologia e suas aplicações em nanoeletrônica estão ilustrados de forma cronológica na tabela abaixo:

Ano	Principais acontecimentos da Nanotecnologia e suas aplicações em nanoeletrônica
1943	Surgimento do primeiro computador digital eletrônico de grande escala, ENIAC desenvolvido na Universidade da Pensilvânia, seu sistema de funcionamento era movido através de válvulas.
1947	Surgimento do primeiro transistor desenvolvido por William Schockley, John Bardeen e Walter Brattain, nos laboratórios da Bell Telephone.
1959	O físico norte americano Richard Feynman em sua palestra “ <i>There`s Plenty of Room at the Botton</i> ” (Há muito espaço lá em baixo) que ocorreu no encontro da <i>American Physical Society</i> (Sociedade Americana de Física) realizado no Instituto Tecnológico da Califórnia, revolucionou.
1962	Foram produzidos os primeiros transistores para uso comerciais, neste mesmo ano a Philco comercializa os primeiros semicondutores no Brasil.
1974	O cientista Norio Taniguchi da universidade de Tóquio-Japão palestrou pela primeira vez usando o termo Nanotecnologia em uma Conferencia Internacional de Engenharia de Produção.
1981	Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, no laboratório da IBM em Zurich-Suíça desenvolvem o Microscópio de Varredura por Tunelamento STM.
1986	Gerd Binnig desenvolveu o Microscópio de Força Atômica (AFM) ele permitiu retirar átomo por átomo ou molécula de um lugar para outro.
1990	Donald M. Eigler escreve a logomarca da IBM utilizando 35 átomos de Xenônio em uma superfície de Níquel.
1991	Sumio Iijima da NEC em Tsukuba, Japão, faz a descoberta do nanotubo de carbono.
1997	ZYVEX-A primeira empresa em Nanotecnologia é criada.
1998	O grupo de pesquisa CEES Dekker da Universidade de Tecnologia Delft na Holanda cria o primeiro transistor de um nanotubo de carbono.
2001	Pesquisadores e colaboradores da IBM desenvolvem métodos para o crescimento de nanotubos.

Tabela 01: Cronologia histórica da Nanotecnologia e suas aplicações.

A evolução da microeletrônica até chegar a nanoeletrônica foi um processo que levou varias décadas e tornou possível graças ao desenvolvimento de microscópios de varredura, entre eles esta o STM, AFM e entre outros. O desenvolvimento do primeiro transistor que a partir dele tornou possível desenvolver dispositivos eletrônicos mais eficientes e com pequeno consumo de energia elétrica em tamanho reduzido.

A nanoeletrônica ou eletrônica molecular é desenvolvida por meio de átomo ou molecular sendo utilizado em transporte de corrente elétrica que promete se a tecnologia do futuro com diversas aplicações em dispositivos com dimensão nanométrica.

A nanoeletrônica não é simplesmente a diminuição das dimensões mínimas dos dispositivos microeletrônicos para valores na ordem de nanômetros. Ela também leva a uma transição dos transistores familiares para novos tipos de dispositivos e arquiteturas de circuito, que consideram as propriedades quânticas dos materiais. (Carneiro, 2007)

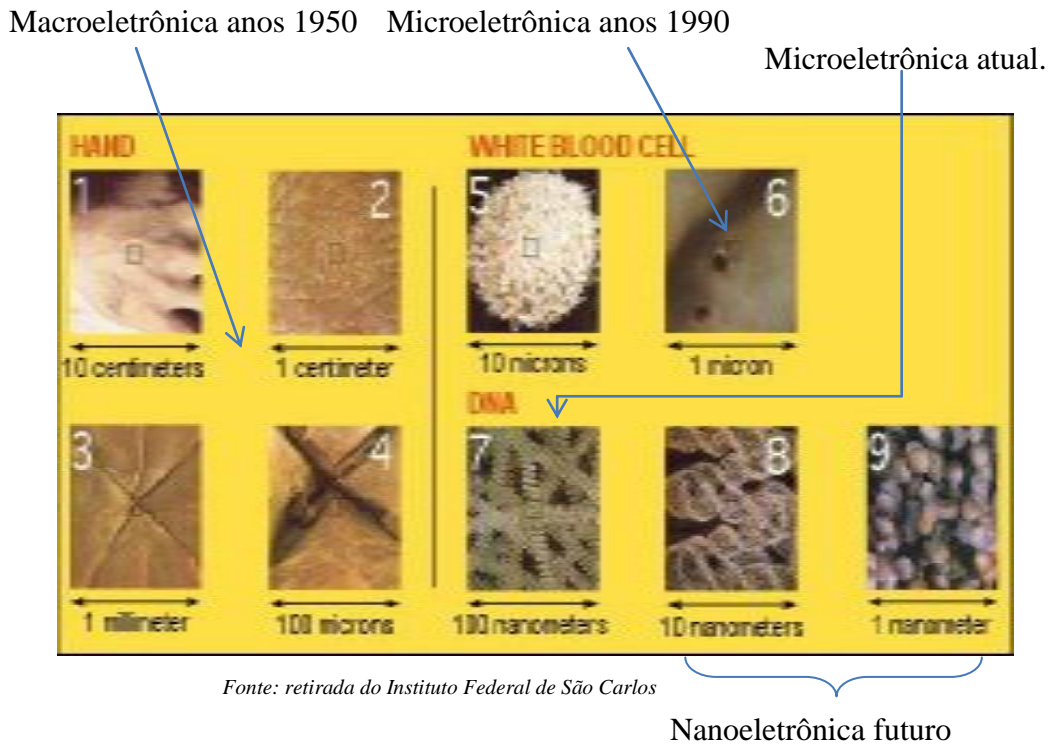


Figura 07: Ilustração da evolução para a miniaturização de dispositivos

2.3 Evolução dos Microprocessadores

O surgimento dos microprocessadores trouxe grandes avanços para o ramo da eletrônica, pois a partir deles tornou possível desenvolver computadores com alta capacidade de processamento e armazenamento, com baixo custo e tamanho reduzido.

Em 1965 o presidente da Intel Gordon Moore, afirmou que a capacidade de processamento dobraria a cada 18 meses mantendo o mesmo custo de fabricação. Como podemos observar em seguida na Figura. Em 1972 o número de transistores era 2000 e em 2011 era três milhões. As dimensões críticas devem ser reduzidas a lei de escala mostra que quanto menores as dimensões críticas maior velocidade e menor consumo de energia. (Plentz, 2014)

No entanto a lei de Moore está prestes a alcançar os limites físicos, devido à capacidade de processamento e armazenamento estar relacionado com densidade superficial

de transistores. Em 1974, os cientistas Arie Aviram e Mark Ratner, publicaram um trabalho com o título: Retificadores Moleculares, eles propuseram a construções de dispositivos moleculares, baseados em estruturas moleculares e não em estrutura convencional, a partir dai surge à chamada eletrônica molecular. (Granhen, 2013).

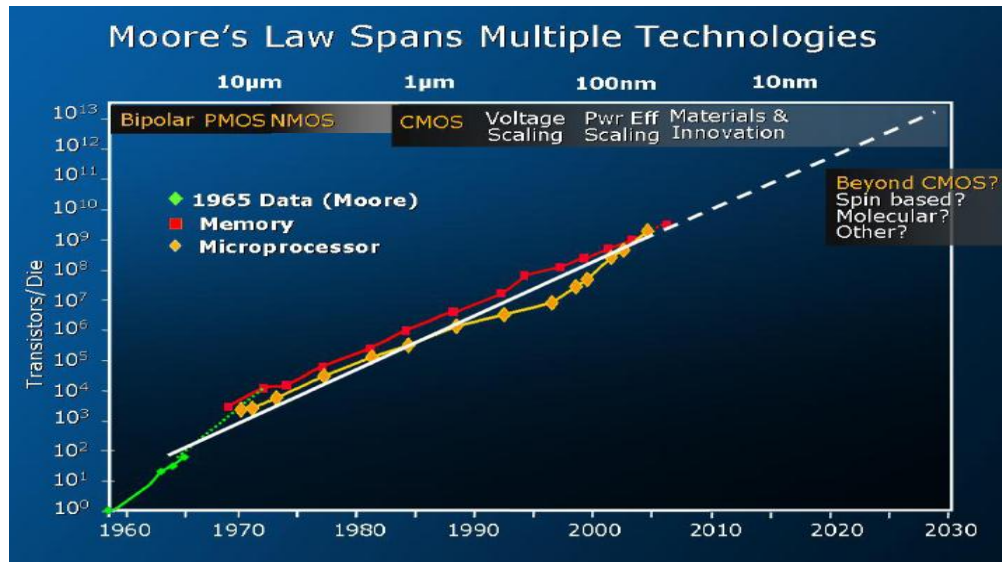


Figura 08: Projeção da lei de Moore para memória e microprocessadores Intel®, atualmente a lei de Moore ainda continua. (retirada da FEEC - Unicamp).

CAPÍTULO 3 - PROPRIEDADES DA MATÉRIA EM ESCALA NANOMÉTRICA

3.1 Transformações da Matéria em Escala Nanométrica

Quando se manipula a matéria em escala nanométrica fenômenos quânticos ocorrem, as propriedades da Física clássica começa a desaparecer, como gravidade, surgindo propriedades da Física quântica, nessa dimensão a matéria adquire propriedades físicas diferenciadas da escala macro e micro, por exemplo, materiais não magnéticos tornam-se magnéticos, não condutores tornam condutores também podem suportar elevadas temperaturas sem sofrer deformações estruturais.

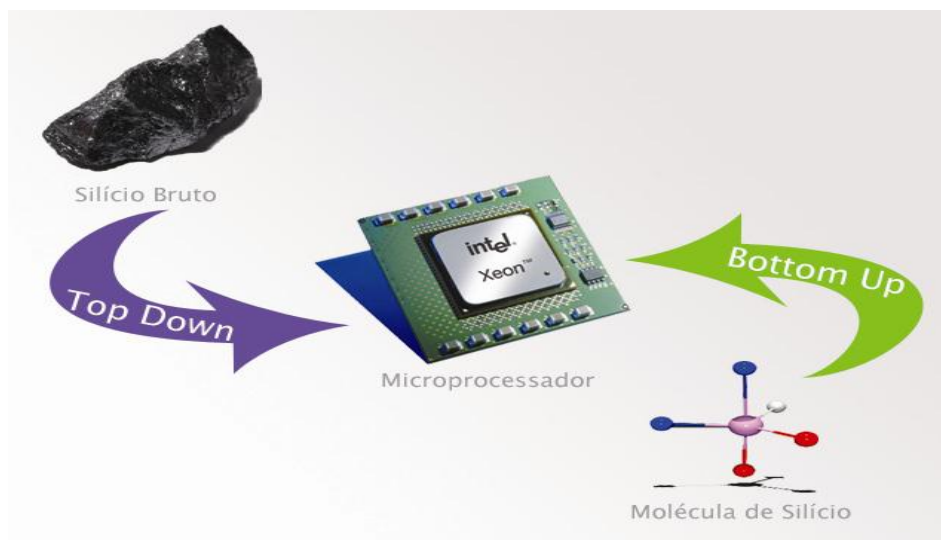
Quando se manipula objetos próximo do intervalo de 1 a 100 nanômetros, leis da Física clássica tem menor importância, como gravidade (Center, 2005). Ao estudar a matéria em escala nanométrica, há dois aspectos a serem considerados: a redução da estrutura que acaba refletindo diretamente no comportamento dos materiais e os efeitos quânticos surgem nas dimensões atômicas e moleculares. (Toma & Araki, 2005)

Trabalhar com a matéria em escala nanométrica é desafiador, pois nesta dimensão é difícil ter controle de espaço, tempo, energia e matéria. Próximo dela, vamos encontrar fenômenos que contrariam nosso bom senso: elétrons se movimentando em torno do núcleo atômico sem perder energia, partículas capazes de estar em vários pontos ao mesmo tempo. (Toma & Araki, 2005)

Graças a essas propriedades da matéria nessa dimensão, que tornou possível o desenvolvimento de materiais com propriedades físicas diferenciadas para o desenvolvimento de novos produtos, com maior resistência, mais eficiência, em baixo custo. As aplicações da N & N em dispositivo nanoeletrônico promete ser promissor nos próximos vinte 20 anos, pois a partir de dispositivos nanométricos podem ser desenvolvidos uma infinidade de objetos eletrônicos portátil com alta eficiência e pequeno consumo energético.

3.2 Métodos de Fabricação na Escala Nanométrica

Existem duas técnicas de fabricação da matéria em escala nanométrica denominadas Top Down do inglês (de cima para baixo) e Bottom Up (de baixo para cima), através desses processos é possível desenvolver estruturas nanométricas. Ver figura 09:



Fonte: Retirada do Instituto Inovação

Figura 09: Métodos para obtenção de dispositivos em escala nanométrica.

3.2.1 Top Down

Este método é utilizado para o desenvolvimento de miniaturização de dispositivos, se trata de uma redução na estrutura Física da matéria, As dificuldades em se obter nanoestruturas a partir dessa abordagem aumenta à medida que se aproxima das dimensões de 100nm. O setor eletrônico vem utilizando essa fabricação por longos anos na obtenção de minúsculos circuitos e semicondutores (Center, 2005). Existem alguns métodos para o desenvolvimento do Top Down entre eles estão:

Fotolitografia: Esta técnica é bastante utilizada na fabricação de microprocessadores. Através dela, o material a ser trabalhado é recoberto por camada de um material fotossensível, ele serve como uma espécie de “mascara”. (Center, 2005).

Nanolitografia de raio de elétrons: Este método é utilizado para criar linhas em aproximado 30nm de diâmetro, apesar de já terem sido feitas linhas com 7nm de diâmetro. O problema é que este método ainda não pode ser usado para a produção em massa, já que é demorado e o maquinário utilizado é de alto custo. (Center, 2005).

Nanolitografia de raio de íons: Este método é parecido a nanolitografia de raio de elétrons. A diferença é que os íons interagem química e fisicamente com o material, o que permite a construção de materiais com novas propriedades. (Center, 2005).

3.2.2 Bottom Up

Este método permite construir estrutura a partir de átomos e moléculas individuais, ele promete ser promissor devido a menor perda de matéria-prima, se comparado ao método Top Down. O controle do processo não é simples e pode ainda apenas produzir estruturas simples, em processos que consomem tempo e um baixo retorno. (Center, 2005). Algumas formas utilizadas para se obter estrutura nanométrica por meio do Bottom Up:

Auto-organização em uma camada: é a reorganização espontânea de uma substância em uma camada com a espessura molecular. Ocorre quando um substrato, como uma superfície metálica ou porosa, entra em contato com uma solução de moléculas orgânicas.

Sol-gel: este processo é utilizado para obtenção de vidros e cerâmicas, a partir de soluções ou colóides. Este processo corresponde à transição de um sistema da fase líquida para a sólida. Através desse processo é possível ter um controle preciso da dopagem de nano partículas no material. (Center, 2005).

Deposição Química por Vapor: consiste na injeção de um gás em uma câmara contendo objeto sólido, que será utilizado como substrato. As moléculas do gás depositam-se lentamente na superfície do substrato, formando estruturas minúsculas. (Center, 2005). Por meio desse método é possível obter estruturas em forma de fita nanofitas, e em forma esférica como nanotubos.

“Impressão 3D”: utiliza o princípio parecido com das impressoras jato-de-tinta, esse método é utilizado para fazer objetos com camadas de diversos materiais, como metais, cerâmicas, polímeros e compósitos. (Center, 2005).

3.3 A Mecânica Quântica nas Explicações da Nanociência e Nanotecnologia

Os princípios da Física quântica são usados para explicar o comportamento da matéria em escala nanométrica, os estudos da mecânica quântica foi desenvolvido por vários físicos no século XX principalmente Albert Einstein, Max Planck e Erwin Schrödinger, entre outros, muito estudo realizado pelos cientistas da época na tentativa de consolidar uma teoria quântica profunda e eficaz para explicar os fenômenos desta natureza. (Andrade, 2013), mas todo esse pensamento se concretizou quando o físico Erwin Schroedinger em 1925, apresentou um método diferente para descrever de maneira geral o comportamento dos fenômenos, a mecânica ondulatória, ela é a base para a Mecânica Quântica. O físico De Broglie sugeriu que o eletro, assim como a luz, se comporta como onda e também como partícula.

O Princípio da incerteza de Heisenberg, um dos pilares da mecânica quântica estabelece que é impossível se determinar simultaneamente a posição e o momento do elétron (Valadares *et al.*, 2005), de forma geral $\Psi(r, t)$ é um número complexo portanto não pode ser associado a uma grandeza Física mensurável, somente o módulo quadrado de $\Psi(r, t)$, $|\Psi(r, t)|^2$ tem significado físico e é interpretado como densidade de probabilidade do elétron. Isso significa que a probabilidade do elétron de ser encontrado em um dado instante t . (Valadares *et al.*, 2005).

3.4 Nanotecnologia Computacional

O desenvolvimento da N & N não tornou possível apenas com o desenvolvimento do grupo de microscópios baseados na varredura por sonda mecânica (Scanning Probe Microscopy) como STM e AFM entre outros desenvolvidos de tecnologia de última geração. As ciências naturais estão engajadas na pesquisa de novas nanoestruturas. Já as engenharias buscam o aproveitamento destes nanomateriais em aplicações tecnológicas e a computação busca criar modelos virtuais com possibilidade em aplicações. (Zanella, *et al.*, 2009)

O desenvolvimento de software computacional para simulações em escala nanométrica contribui de forma significativa para o avanço da Nanotecnologia, pois alguns softwares conseguem simular o comportamento da matéria em escala atômica e molecular. Por exemplo, o Hyper Chem, Gaussian, Chem2 Pac, Mol 2 Mol, Gauss View, Chem Craft, Atk Virtual Nano Lab, Siesta e Transiesta. (os dois últimos são os mais atuais). Esses softwares são indispensáveis para as pesquisas em nanoeletrônica ou eletrônica molecular do grupo do professor Jordan Dr. Del Nero (UFPA - Belém) no qual o professor Dr. Carlos A. B. da Silva Jr. (UFPA - Ananindeua) faz parte e desenvolve pesquisa.

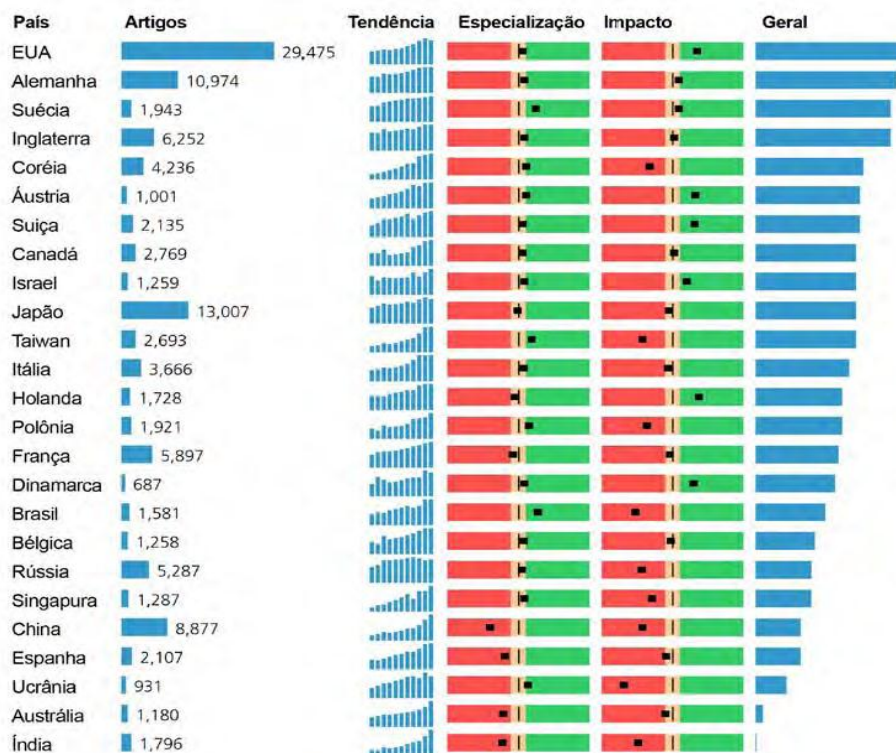
CAPÍTULO 4 - INVESTIMENTOS EM NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA

4.1 Maiores Investidores em Nanotecnologia

Dentre os países que mais desenvolve pesquisa e investimento em N & N especificamente em nanoeletrônica, com destaque para os Estados Unidos, em seguida vem Japão, Alemanha, China, Espanha, França e Reino Unido; os Europeus na última década vem aumentando seus investimentos em N & N. Estudos e pesquisa têm como objetivos desenvolver produtos com propriedades físicas diferenciadas entre essas estar a busca por produtos mais resistentes, leves, menor consumo de energia elétrica e com capacidade de suportar elevadas temperaturas, exemplo, o nanotubo de carbono.

Os EUA nos últimos anos investiu mais de US\$ 700 milhões, dando importância em programas de pesquisa e desenvolvimento na pauta de investimento do governo, além da presença de grandes centros de pesquisa como Foresight Institute. (Center, 2005). Um ponto de grande importância no desenvolvimento da N & N é a necessidade de novos pesquisadores e profissionais para atuarem na área. Entre os anos de 2010 e 2015 cerca de dois milhões de novos postos de trabalho relacionados à Nanotecnologia foi criados a nível mundial, (Center, 2005). Além das aplicações ligadas a processadores, a nanoeletrônica terá um papel decisivo em dispositivos eletrônicos utilizados em aplicações específicas, como transmissão de energia, controles eletrônicos, dispositivos de potência. (ABDI, 2008-2025).

Nos últimos anos houve um grande avanço em pesquisa e aplicações em dispositivo nanométrico, considerando a Nanotecnologia como tecnologia promissora especialmente nas aplicações da eletrônica molecular, com capacidade de desenvolver dispositivo altamente eficiente para uso industrial. A figura a seguir mostra os países que mais publicaram artigos entre os anos de 1996-2006. Em primeiro lugar *ranking* lidera os EUA, seguido por Japão e Alemanha neste mesmo o Brasil ocupava o 17º lugar na lista dos 25 países com maior produção científica levando em conta o grau de impacto e grau de especialização em nanoeletrônica, em nível mundial. (ABDI, 2008-2025).



Fonte: retirada da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Figura 10: Países líderes em produção científica em nanoeletrônica com destaque para o EUA em primeiro lugar no *ranking*, com base nestes dados o Brasil ocupa a 17ª posição no período de 1996-2006.

Os resultados do estudo da Science-Metrix consideravam dois períodos de análise: 1997-2001 e 2002-2006. Podemos observar na figura que no período 1997-2001, o Brasil esteve em posição mais favorável do que no período seguinte (2002 -2006),(ABDI, 2008-2025) embora o país estando no quadrante dos países de baixo impacto, em compensação o grau de especialização foi considerado bastante expressivo do que no período 2002 -2006, no qual o país aproximou-se da média mundial.

A tabela mostra o numero de patentes por Universidades Americanas no período de 1987 e 2006 em primeiro lugar no *ranking* estar a Universidade de Harvard com 26 patentes e 1,95 especializações.

Tabela XL Especialização das universidades em nanoeletrônica, 1987-2006

Universidade	País	Patentes Ativas	Especialização
Harvard	EUA	26	1.95
U of Connecticut	EUA	20	1.74
Caltech	EUA	49	1.66
U of Minnesota	EUA	10	1.53
Cornell	EUA	28	1.43
Georgia Tech	EUA	11	1.42
U of Wisconsin	EUA	17	1.40
Northwestern	EUA	11	1.22
U of Illinois	EUA	14	1.19
U of California	EUA	99	1.01

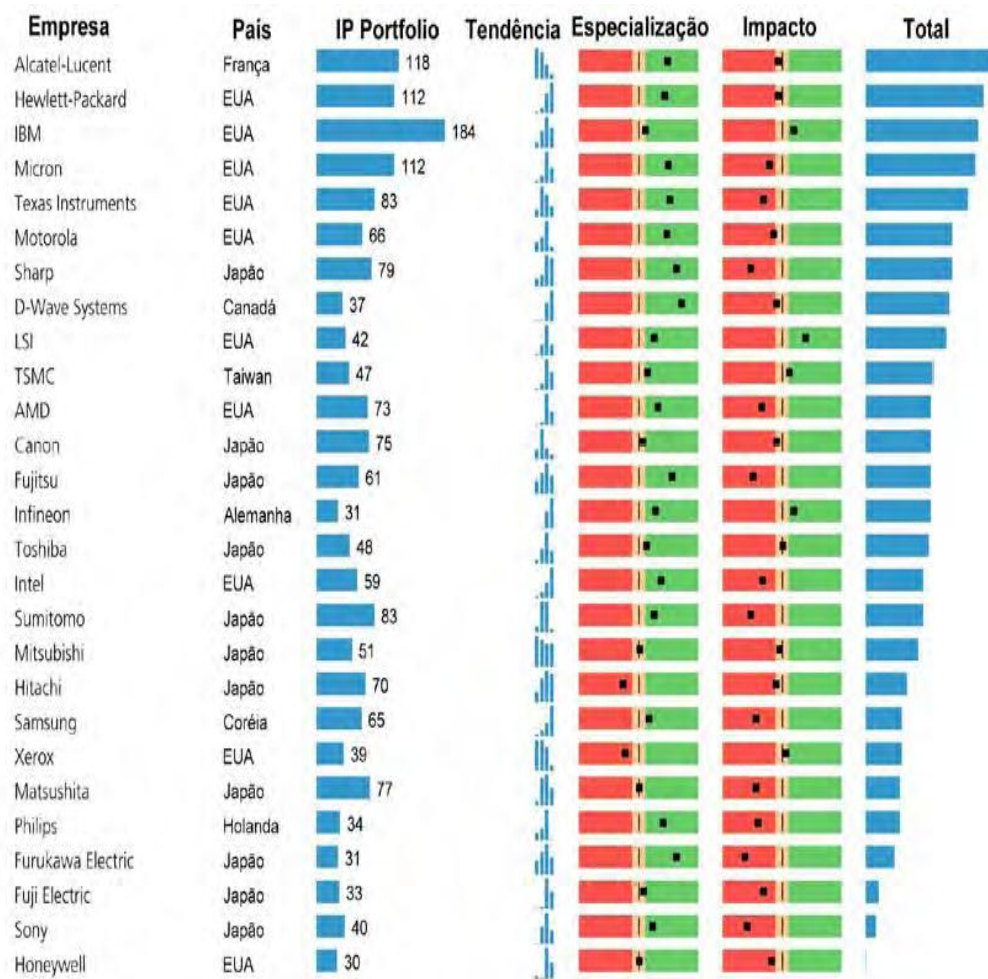
Fonte: retirada da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Tabela 02: Número de patentes americanas e especialização em nanoeletrônica, por Universidade.

As Universidades e Institutos norte americanos são os principais investidores em nanoeletrônica no mundo junto com Japão e Alemanha. O governo dos EUA fez investimentos expressivos em N & N nos últimos 20 anos. Pois os países que conseguirem dominarem a tecnologia nanométrica serão promissores no futuro devido à diversidade de materiais que pode ser produzido a partir dessa tecnologia.

A partir da microeletrônica foi possível desenvolver aparelhos eletrônicos com maior capacidade de processamento e armazenamento, ocupando pequeno espaço e com baixo consumo de energia, mas a nanoeletrônica devera num futuro próximo revolucionar a tecnologia no sentido da miniaturização.

A figura a seguir mostra o ranking mundial das empresas que detém o maior numero de patentes ativas e especialização no mundo, em primeiro lugar a Alcatel-Lucent francesa com o maior número de patentes e maior grau de espacialização em seguida aparece cinco empresas norte americana, com destaque para a IBM ocupando a terceira posição, levando em consideração o numero de patentes ativas o grau de especialização e o impacto tecnológico.



Fonte: retirada da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

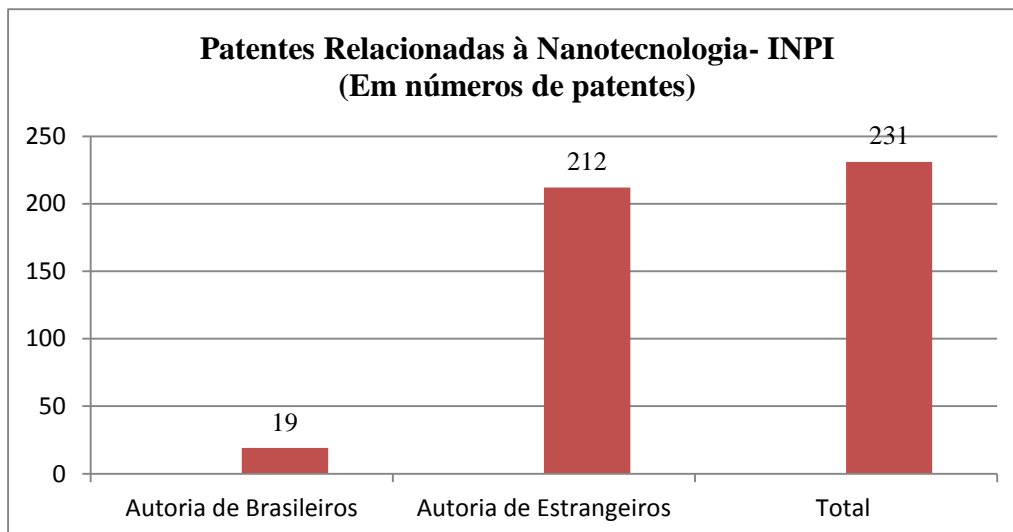
Figura 11: Principais empresas líderes em nanoeletrônica, em primeiro lugar no ranking lidera a Alcatel-Lucent francesa, em seguida estão cinco norte americanas. 1987-2006

4.2 Investimentos em Nanotecnologia no Brasil

A N & N vêm dando os primeiros passos na Brasil graças ao apoio de alguns grupos de pesquisas e do Ministério de Ciência Tecnologia Inovação (MCTI) a partir de 2005, Em 2002, os índices em Nanotecnologia brasileira já eram significativos, incluindo mais de 1.000 artigos científicos, publicados por mais de 300 doutores na área, 20 patentes e uma estrutura laboratorial adequada. (Center, 2005).

Nos últimos 20 anos o Governo Federal (GF) tem feito investimentos expressivos em N & N, mas se formos comparar com outros países são pouco os investimentos tecnológicos nessa área no país, ainda há um número relativamente pequeno de resultados práticos que podem ser apresentados pelas Universidades brasileiras, segundo uma pesquisa realizada pelo

Instituto Nacional de Pesquisa Industrial (INPI), que apresenta uma análise das patentes relacionadas à Nanotecnologia registradas no país,(Center, 2005).Com base nos dados da figura.



Fonte: adaptada do Instituto Inovação

Figura 12: Relação de patentes relacionadas à Nanotecnologia no Brasil.

Podemos observar que a quantidade de patentes de autoria de brasileiro é muito pequena em relação ao total de patentes publicadas no Brasil. Entre os patenteados brasileiros a UNICAMP tem o maior número de patentes depositadas com quatro, seguida pela UFRGS com duas patentes.

Com o objetivo de incentivar o desenvolvimento em Nanotecnologia o GF criou o Plano Nacional de Nanotecnologia (PNN), que tem por meta aumentar a competitividade das indústrias em desenvolvimento em N & N em relação ao desenvolvimento econômico.

O PNN previu um investimento US\$ em torno de 25 milhões até 2007 e as expectativas quanto os resultados devem aumentar para os próximos 20 vinte anos. As ações previstas no Programa para alcance das metas acima são implementadas via repasse direto de recursos às agências do MCTI: o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). (Center, 2005).

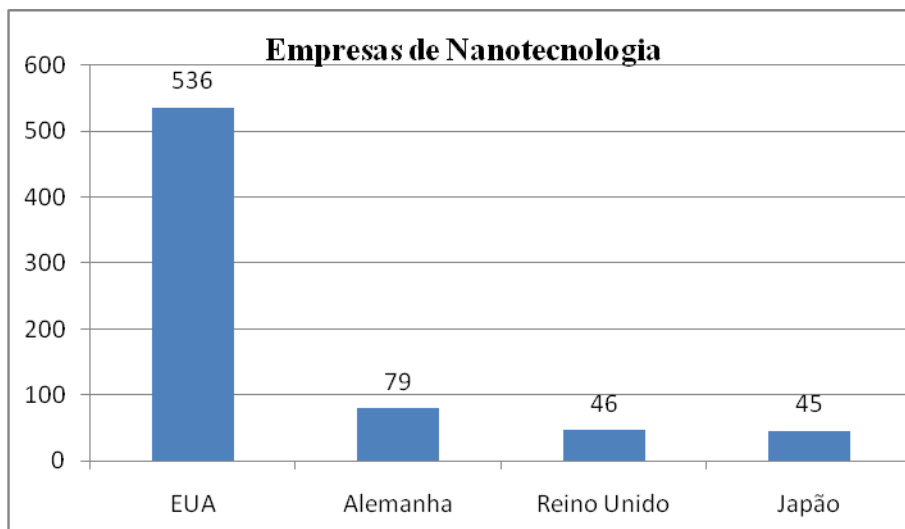
Por iniciativa do GF foi criado dezessete unidades do Instituto do Milênio, como uma das ações do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT) dentre as redes estão a Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e nanoeletrônica da qual participam a UNICAMP, UFRGS, UFPE, USP, UFSC, UnB e UFRJ,

o Instituto de Nanociências localizado em Belo Horizonte, formado por 66 pesquisadores de 21 instituições brasileiras e o Instituto de Materiais Complexos do qual participam a UNICAMP, UFRJ, USP e UFPE. (Center, 2005), também Graças ao apoio PNN o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) conseguiram desenvolver 150 pesquisas voltada para Nanotecnologia.

4.3 Empresas de Nanotecnologia Global

As empresas nos últimos anos vêm aumentando os investimentos em Nanotecnologia principalmente dos EUA, existe uma grande linha de produtos nanotecnológico no mercado global. Segundo o site (www.nanoinvestornews.com), especializado em notícias recursos relacionados ao comércio e investimento em Nanotecnologia, em 2004 havia 954 empresas de Nanotecnologia, distribuídas em 53 países, sendo a maioria nos EUA. (Center, 2005).

Dentre as empresas que desenvolve produtos em Nanotecnologia podemos mencionar as mais conceituadas no mercado como; Sony, IBM, Samsung, LG HP, Mitsubishi e Basf somarão mais US\$ 1,2 bilhão, segundo a agência norte americana de investimento privado Giordano Securities Group.



Fonte: adaptado do Instituto Inovação

Figura13: Principais empresas de Nanotecnologia em escala global.

Segundo dados do Instituto Inovação a América Latina tem um bom potencial para entrar neste cenário como mercado secundário, como na produção de nanotubos e na mecatrônica onde o Brasil é destaque, apesar de possuir muitas dificuldades para avançar no mercado, ele possui varias pesquisas em andamento na área da Nanotecnologia.

Por exemplo, a EMBRAPA desenvolveu a língua eletrônica, um sensor capaz de detectar impurezas em alimentos, UFMG desenvolveu o nanotubo de carbono de uma e varias camadas As empresas que buscam a Nanotecnologia, em sua maioria por meio de parcerias com Universidades Federais com o objetivo de aprimorar seus produtos. (Center, 2005)

4.4 Exemplos de Aplicações em Dispositivos Nanoeletrônicos

O avanço da Nanotecnologia tornou possível desenvolver dispositivos em escala nanométrica, esta tecnologia será promissora na aplicação da eletrônica molecular, tanto a iniciativa privada como os governos estão desenvolvendo estudo e pesquisando com o objetivo de aumentar a demanda de produtos a partir de tecnologia nanométrica no mercado global. A eletrônica molecular pode ser usada na fabricação de memórias de computadores usando moléculas individuais ou nanotubos para armazenar bits ou informações, assim como interruptores moleculares, transistores moleculares, CI de nanotubos e nanotubos como eletrodos em células. (Center, 2005).

Sem percebermos a Nanotecnologia esta presente em uma grande variedade de produtos, em nanoeletrônica podem ser encontrados no mercado diversos produtos de tecnologia nanométrica, dentre eles podemos citas alguns em seguida: como um chip de memória desenvolvido pela Samsung a partir de tecnologia nanométrica.



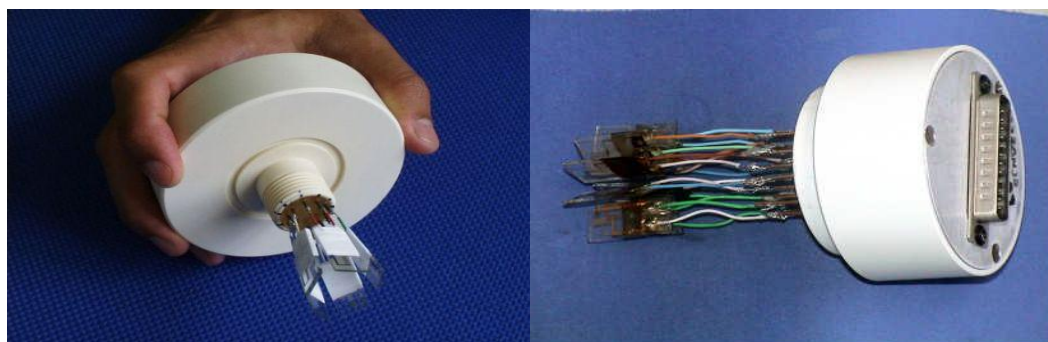
Fonte: retirada do Instituto Inovação

Figura 14: Chip de memória desenvolvido pela Samsung do tamanho de um selo postal com capacidade de oito mil megabytes.

No Brasil existem várias empresas desenvolvendo produtos baseado em Nanotecnologia, como a língua eletrônica desenvolvida pela EMBRAPA, que tem como função fazer análise da qualidade de alimentos.

A língua eletrônica é formada por um conjunto de sensores que tenta imitar o funcionamento de uma língua humana e sua capacidade de identificar os cinco sabores básicos. Ver figura 15. (Inovação Tecnológica, 2012)

Segundo o chefe-geral da EMBRAPA, Ladislau Neto, o sensor é um dos raros exemplos de resultados da Nanotecnologia no Brasil, uma área inovadora e que promete revolucionar vários setores da economia, da indústria ao agronegócio. O projeto, iniciou na EMBRAPA, a partir da demanda da indústria pela automação na área da degustação, por exemplo, de medicamentos ou de alimentos não facilmente palatáveis, casos em que o uso de humanos não é viável.(Inovação Tecnológica, 2012)



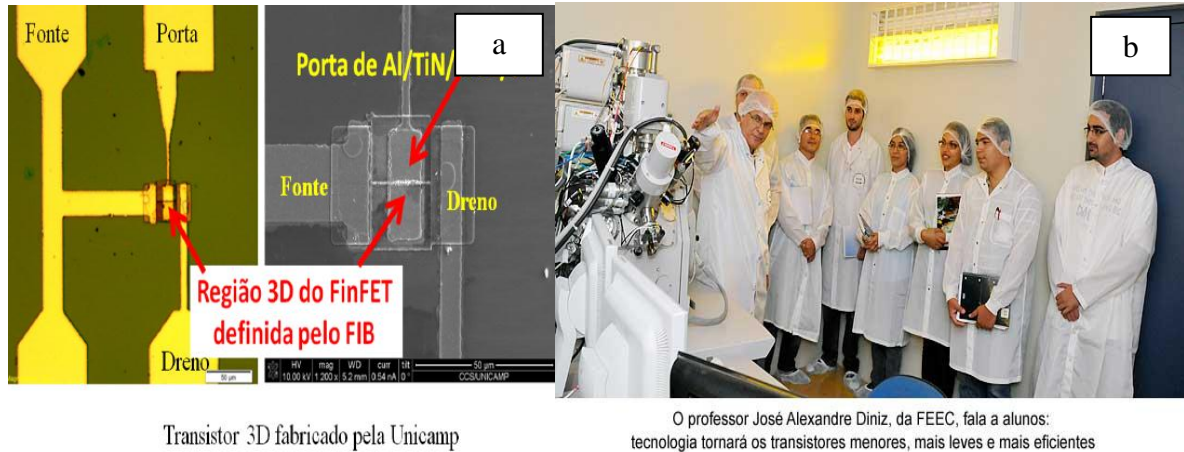
Fonte: retirada do Site Inovação Tecnológica

Figura 15: Imagens da língua eletrônica desenvolvida pela EMBRAPA, que é formada por um conjunto de sensores que tenta imitar o funcionamento da língua humana.

As aplicações da N & Nem dispositivos nanoeletrônico vem sendo uma área que pode oferecer grandes oportunidades tanto para iniciativa privada como para as instituições pública. O Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CINano) é um espaço governamental plural de definição, implementação e financiamento de políticas públicas em Nanotecnologia. O CINano tem como objetivo fazer a integração da gestão; avaliação das atividades; Financiamento/Integração orçamentária; Acompanhamento e avaliação; Cooperação Internacional. (Plentz, 2012).

Outra grande conquista foi o desenvolvimento de primeiro transistor 3D ou Transistor FinFET, graças a parceria da UNICAMP com a USP, onde rendeu um transistor em escala nanométrica eficientes e com baixo consumo de energia.O dispositivo, que ainda está em fase de protótipo, proporcionara maior capacidade de processamento e de armazenamento para equipamentos eletrônicos, como tablets, notebooks, televisores entre outros.

A diferença fundamental entre um transistor planar e um 3D é que no primeiro a corrente é transmitida através de um plano da superfície do Silício somente, enquanto no segundo a corrente passa por três planos, um da superfície e dois das paredes verticais, aumentando o desempenho. (Site da Unicamp, 2014)



Fonte: Site da UNICAMP

Figura 16: (a) Primeiro transistor 3D desenvolvido por um grupo de pesquisadores brasileiros da UNICAMP e USP. (b) Imagem do grupo que desenvolveu.

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A N & N é uma área que oferece uma infinidade de possibilidades para o desenvolvimento de pesquisa por isso é um campo multidisciplinar com destaque para Física, Química, Matemática, Engenharias e Computação. A Nanotecnologia tem um grande potencial para aplicação em nanoeletrônica, pois se pode desenvolver dispositivo em dimensão nanométrica com alta capacidade de processamento e armazenamento em tamanho molecular e baixo consumo de energia elétrica.

A microeletrônica revolucionou o mercado eletrônico no século passado, mas a nanoeletrônica ou eletrônica molecular promete revolucionar o mercado no futuro, através da mesma podem ser desenvolvidos dispositivos altamente eficientes e resistentes e com capacidade de suportar alta temperatura, como o nanotubo de carbono que tem uma infinidade de aplicações.

Entre os países pioneiros em desenvolver pesquisas e investimentos em N & N principalmente em nanoeletrônica esta EUA, incluindo a iniciativa privada e o GF, sendo o físico norte americano Richard Feynman o primeiro a palestrar sobre as perspectivas em N & N no encontro da Sociedade Americana de Física (*American physical society*), segundo ele era possível colocar os 24 volumes de enciclopédia britânica na cabeça de um alfinete, apenas usando letras em aproximadamente 8nm. Isso seria possível através da manipulação de átomos e moléculas.

Com o desenvolvimento dos microscópios de varredura por tunelamento e alguns softwares tornou-se possível manipular a matéria em escala nanométrica. A partir dessas descobertas a Nanotecnologia faz avanços significativos, em pesquisas e começaram a ser desenvolvidos primeiros dispositivos a partir da tecnologia nanométrica ou eletrônica molecular, por exemplo, o desenvolvimento do primeiro transistor desenvolvido a partir de nanotubo de carbono.

Merece destacar que a Nanotecnologia ainda é uma área que tem poucas empresas que dominam esta tecnologia, principalmente no Brasil o número de profissionais que atuam nesta área é muito pequeno. As instituições públicas brasileira nos últimos anos vêm fazendo pesquisas significativas em Nanotecnologia, entre os de maiores referências esta a língua eletrônica desenvolvida pela EMBRAPA e o primeiro transistor 3D desenvolvido pela FEEC/UNICAMP e USP esse dispositivo será menor, mais leve e eficiente.

A tecnologia do futuro certamente será dominada por dispositivos em escala nanométrica, principalmente em aplicação da eletrônica molecular, podendo ser desenvolvido

materiais diferenciados com tamanho minúsculo com capacidade de suportar altas temperaturas, maior resistências à pressão menor resistência à passagem de corrente elétrica, baixo consumo de energia e grande capacidade de armazenamento e processamento.

CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. P. 2013. **Física Moderna**. 1ª edição, novembro de 2013. 225 exemplares copyright by ead-uab/uesc.

CARNEIRO, V. G. A. 2007. **Influência das interconexões sobre o desempenho de circuitos integrados nanoeletrônicos baseados em transistores mono-elétron**. *Dissertação de Mestrado*. Brasília. Universidade de Brasília, 101p.

CENTER, K. 2005. **Nanotecnologia**. Instituto Inovação.

DINIZ, J. A. 2010. **Nanoeletrônica**. Disponível em: <http://www.prp.unicamp.br>. acesso em: 23/11/2014.

EMBRAPA. 2012. **Língua eletrônica brasileira**. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias>. acesso em: 23/12/2014.

GRANHEN, R. G. 2013. **Modelamento do Transporte Eletrônico em Dispositivos Moleculares**. *Tese de Doutorado*. Belém. Universidade Federal do Pará, 119p.

INDUSTRIAL, A. B. D. 2010. **Cartilha Sobre Nanotecnologia**. Disponível em: <http://www.abdi.com.br>. acesso em: 22/11/2014.

INDUSTRIAL, A. B. D. 2008-2025. **Estudo Prospectivo Nanotecnologia**. Disponível em: <http://www.abdi.com.br>. acesso em: 22/11/2014.

LEWENKOPF, C. H. 2006. **Eletrônica Molecular: Uma mudança de paradigma**. Departamento de Física Teórica, São Carlos.

PLENTZ, F. 2012. **Iniciativa brasileira de Nanotecnologia**. *Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios* Fortaleza.

RUBIO, M. R.G. 2006. **Nanotecnologia: A Última Fronteira Tecnológica**. 8º simpósio de iniciação científica e tecnológica.

TOMA, H. E. & ARAKI, K. 2005. **Nanociência e Nanotecnologia**. São Paulo, ciência hoje vol. 37 n° 217.

UNICAMP, 2014. **Primeiro transistor 3d desenvolvido pela USP e UNICAMP**. Disponível em: <http://www.unicamp.br>. acesso em: 20/03/2015

VALADARES E. C.; CHAVES A. & ALVES, E. G. 2005. **Aplicações da Física Quântica: do Transistor à Nanotecnologia**. São Paulo, 1ª edição, 90p.