

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ODENIR MILCZEVSKY

**ESTUDO SOBRE CONCEITOS E APLICAÇÕES DA MICRO E
NANOTECNOLOGIA**

MONOGRAFIA – ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2012

ODENIR MILCZEVSKY

**ESTUDO SOBRE CONCEITOS E APLICAÇÕES DA MICRO E
NANOTECNOLOGIA**

Monografia de Conclusão do curso de Especialização em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de “Especialista em Automação Industrial”

Orientador: Prof. Dr. Carlos Raimundo Erig Lima

CURITIBA
2012

ODENIR MILCZEVSKY

ESTUDO SOBRE CONCEITOS E APLICAÇÕES DA MICRO E NANOTECNOLOGIA

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de **Especialista em Automação Industrial** do Departamento Acadêmico de Eletrônica, Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, 07 de dezembro de 2012

.....
Coordenador do Curso
Prof. Dr. Kleber Kendy Howikawa Nabas

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof. Dr. Kleber Kendy Howikawa Nabas
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

.....
Prof. Mestre Guilherme Alceu Schneider
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná

AGRADECIMENTOS

A todos os amigos que compartilharam comigo o seu tempo durante esta especialização.

Agradeço a todo o corpo docente deste curso de especialização, por me permitirem tomar parte de seus conhecimentos.

Agradecimento especial ao meu Professor Orientador Dr. Carlos Raimundo Erig Lima pela dedicação a mim dispensada no decorrer deste trabalho.

RESUMO

MILCZEVSKY, Odenir. **Estudos sobre conceitos e aplicações da Micro e Nanotecnologia**. 2012. 47 f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Departamento Acadêmico de Eletrônica, Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2012.

Esta pesquisa apresentará um estudo sobre os conceitos e aplicações da Micro e Nanotecnologia e a sua importância no desenvolvimento tecnológico, visando melhorar os padrões de vida a qualidade de bens de consumo sem esgotar os recursos naturais que são intensificados pela atual situação econômica. O objetivo é gerar um documento que possa servir de base para pessoas interessadas em obter um conhecimento preliminar sobre o assunto. Por fim são apresentadas as conclusões que refletem o alcance deste trabalho.

Palavras chave: Micro e Nanotecnologia, Sensores, Nano posicionamentos.

ABSTRACT

MILCZEVSKY, Odenir. **Study of concepts and applications of Micro and Nano of Technology**. 2012, 47 f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) – Programa de Pós-Graduação do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2012.

This research will present a study on the concepts and applications of Micro and Nanotechnology and its importance in technological development to improve the living standards of the quality of consumer goods without depleting natural resources which are intensified by the current economic situation. The goal is to generate a document that can serve as a base for people interested in obtaining a preliminary knowledge on the subject. Finally conclusions are drawn that reflect the scope of this work.

Key Words: Micro and Nanotechnology, Sensors, Placements Nano.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--------------|---|----|
| Figura 1 | Áreas inovadoras identificadas pelos fabricantes..... | 9 |
| Figura 2 | Ilustrativa. Circuito Biodegradável..... | 15 |
| Figura 3 | Ilustrativa. Poluição Marítima..... | 16 |
| Figura 4 | Ilustrativa. Representação do grafeno..... | 17 |
| Figura 5 | Imagem de microscopia Eletrônica da fibra de nanotubos..... | 19 |
| Figura 6 | Comparação de microscopia convencional com AFM..... | 20 |
| Figura 7 | Ilustrativa. Estrutura de um Nanotubo..... | 21 |
| Figura 8 | Nanotubo em Y..... | 22 |
| Figura 9 | Robôs Aranha..... | 23 |
| Figura 10 | Haste Piezoelétrica <i>Unimorph</i> | 25 |
| Figura 11 | Atuadores Piezoelétricos Comercias..... | 26 |
| Figura 12 | Atuadores Piezoelétricos projetados pelo Grupo da EPUSP..... | 26 |
| Figura 13 | Diagrama de bloco de controle com atuadores..... | 27 |
| Figura 14 | Diagrama de blocos para medição de deformação por Extensômetro..... | 28 |
| Figura 15(a) | Diagrama de blocos controle de realimentação em cascata..... | 29 |
| Figura 15(b) | Resposta ao degrau em malha fechada..... | 29 |
| Figura 16 | Medição de deflexão (δ) com extensômetro usando filtro de Kalmam..... | 31 |
| Figura 17(a) | <i>Piezocantilever</i> para estimar a força de uma micro garra de manipulação..... | 31 |
| Figura 17(b) | Estimativa de força utilizando o observador de Luenberger..... | 31 |
| Figura 18 | Princípio geral de um sistema de auto sensoriamento..... | 32 |
| Figura 19(a) | MENS baseado em sensor de micro força..... | 33 |
| Figura 19(b) | Integrado monolítico de dois eixos para teste de micro força..... | 33 |
| Figura 20 | Funcionamento básico de um Microscópio de Força Atômica (AFM)..... | 36 |
| Figura 21(a) | Conceitos de controle <i>Feedforward</i> | 38 |
| Figura 21(b) | Conceitos de controle <i>Feedforward</i> | 38 |
| Figura 21(c) | Conceitos de controle <i>Feedforward</i> | 38 |
| Figura 22 | Resultado de imagem de um AFM..... | 39 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 8 |
| 1.1 | TEMA..... | 8 |
| 1.1.1 | Delimitação da Pesquisa..... | 10 |
| 1.2 | PROBLEMAS E PREMISSAS..... | 10 |
| 1.3. | OBJETIVO GERAL..... | 11 |
| 1.3.1 | Objetivos Específicos..... | 11 |
| 1.4 | JUSTIFICATIVA..... | 11 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 12 |
| 2.1 | A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA..... | 12 |
| 2.2 | A IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA..... | 13 |
| 2.3 | A IMPORTÂNCIA SOCIAL..... | 14 |
| 2.4 | O ESTADO DA ARTE..... | 14 |
| 2.4.1 | Circuito Bio degradável..... | 15 |
| 2.4.2 | Nanoplásticos: uma poluição que mata a fome..... | 15 |
| 2.4.3 | O Grafeno, material das mil promessas..... | 16 |
| 2.4.3.1 | Um novo procedimento de produção, simples e barato..... | 17 |
| 2.4.4 | Engenheiros criam uma fibra de alta resistência, superior ao Kevlar..... | 18 |
| 2.4.5 | Microscopia de Força Atômica (AFM)..... | 19 |
| 2.4.6 | Transistores com base em nanotubos de carbono..... | 21 |
| 2.4.7 | Robôs-aranha injetados no corpo humano..... | 23 |
| 2.5 | POSSIBILIDADES DE DETECÇÃO E MEDIÇÃO EM MICRO E NANOSISTEMA..... | 24 |
| 2.5.1 | Especificidades das Micro Escalas..... | 24 |
| 2.5.2 | Atuadores de Haste Piezoelétricos (<i>piezocantilevers</i>)..... | 25 |
| 2.2.3 | Sensores que podem ser utilizados para controlar atuadores Piezoelétricos baseados em cantilevers..... | 27 |
| 2.5.3.1 | Extensômetros..... | 27 |
| 2.5.3.2 | Sensor Piezoelétrico..... | 28 |
| 2.5.3.3 | Sensores Capacitivos..... | 28 |
| 2.2.7 | Sensor Piezomagnético..... | 28 |
| 2.6 | TÉCNICAS DE CONTROLE COMUMENTE USADAS..... | 29 |
| 2.7 | ESTIMATIVA DE FORÇA USANDO OBSERVADOR DE LUENBERGER..... | 30 |
| 2.8 | EXTENSÔMETRO, FILTRO DE KALMAN E FEEDBACK DO CONTROLE DE ESTADOS..... | 30 |
| 2.9 | PRINCÍPIO DE AUTO DETECÇÃO..... | 32 |
| 2.10 | FERRAMENTAS MICRO ROBÓTICAS PARA MEDIÇÃO DE PEQUENAS FORÇAS..... | 32 |
| 2.10.1 | Ferramentas baseadas em sensores Capacitivos para medição de micro forças..... | 33 |
| 2.10.2 | Análise de incertezas..... | 34 |
| 2.11 | DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DE PEQUENAS FORÇAS EM UM NANO SISTEMA..... | 34 |
| 2.12 | POSICIONAMENTO DE SONDA DE VARREDURA, VELOCIDADE, MEDIÇÃO E CONTROLE..... | 36 |
| 2.13 | BENEFÍCIOS E RISCOS DA NANOTECNOLOGIA..... | 40 |
| 3 | CONCLUSÕES..... | 41 |
| | REFERÊNCIAS..... | 43 |

1 INTRODUÇÃO

Os termos Microtecnologia e Nanotecnologia (MNT) podem ser entendidos como o estudo, de fenômenos e a manipulação de materiais, substâncias e dispositivos que se encontram normalmente na escala Micro ou Nano métrica (1 micrometro = 10^{-6} do metro = 0,000 001m e 1 nanômetro = 10^{-9} do metro = 0,000 000 001 m) e que apresentam propriedades dependentes dessa escala. Para Ratner, é importante se ter em mente que “nano escala não implica apenas uma questão de ser pequeno, trata-se, sim, de um tipo especial de pequeno” (Ratner, 2003). Esse tamanho é aproximadamente 100 mil vezes menor do que o diâmetro de um fio de cabelo, 30 mil vezes menor do que o diâmetro de um fio de uma teia de aranha ou 700 vezes menor do que um glóbulo vermelho. É nesta escala que a nanotecnologia é trabalhada e seus objetos são concebidos. A Nanotecnologia é hoje objeto de grandes investimentos a nível mundial em pesquisas, com a finalidade principal de obter recursos tecnológicos para miniaturizar componentes, reduzir o consumo de energia e os riscos da saúde, permitindo tratamentos menos evasivos. Também tem grande importância na área de análises clínicas, mobilidade, segurança nacional e conversão de energia de armazenamento. Presente em vários produtos como: cosméticos, medicamentos, automóveis entre outros, tem um significado importante para a inovação Industrial. (ABDI..., semana Nacional da Ciência e tecnologia, 2011)

1.1 TEMA

A tendência para a personalização da saúde, cirurgias minimamente invasivas, cuidados com o envelhecimento da população todos terão suporte por soluções da MNT. Outras áreas como mobilidade, segurança nacional, a conversão de energia de armazenamento, também sofrerão mudanças dos paradigmas nos processos de fabricação. “A MNT já reduz a nossa dependência dos combustíveis fósseis (petróleo, gás, carvão e etc.), conseqüentemente reduz as emissões de dióxido de carbono e a concentração de nitrogênio e enxofre óxido na atmosfera”. (THE RAW MATERIALS..., 2008)

No médio e longo prazo o uso da MNT irá diminuir o consumo de energia em muitas de suas áreas de aplicação. A relevância econômica dos micros componentes é confirmada por relatórios recentes, como os de Yole Développement apresentado em 2012, que prevê um contínuo crescimento para muitas áreas que dependem diretamente da MNT. Somente as Indústrias Europeias tem previsão de vinte bilhões de dólares em investimentos em MNT, até o ano de 2016 e no resto do mundo as previsões são de 3,1 trilhões de dólares. E para garantir e melhorar a competitividade, desses avanços tecnológicos na energia, miniaturização de componentes eletrônicos e novos materiais, a Europa já está preparando o terreno para a Competitividade até o ano de 2030. A partir da classificação de produtos inovadores fornecidos pelos fabricantes, a MNT, desempenha um papel importante nas etapas futuras de inovação, conforme mostra a figura 1. (Manufuture's - Manufacturing 2030 in Europe)

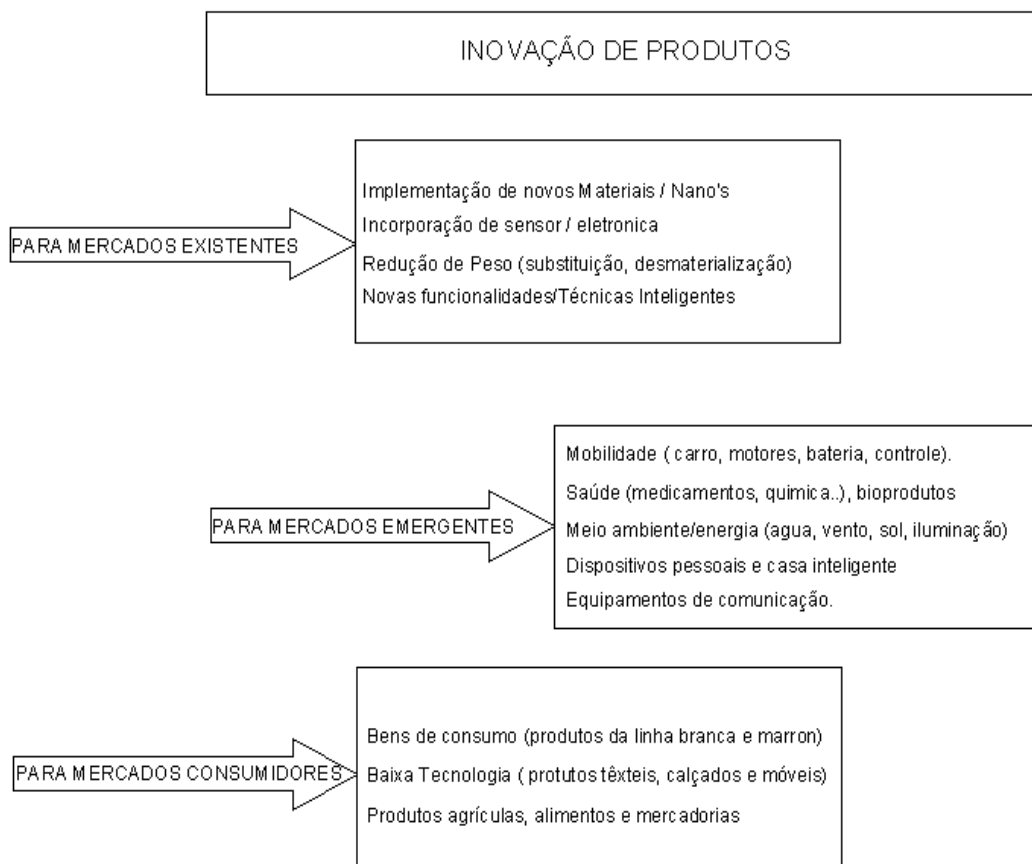


Fig. 1 - Áreas inovadoras identificadas pelos fabricantes.
 Fonte: "Manufacturing 2030 in Europe" publicado, em julho de 2011, p.10.

É neste contexto que a pesquisa desta proposta avaliará as aplicações da MNT relativos às possibilidades positivas e negativas desta nova Tecnologia.

1.1.1 Delimitação da Pesquisa

Neste estudo serão pesquisadas as aplicações da MNT e também sistemas de posicionamento e sensoriamento com a aplicação destas Tecnologias.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Com a crescente demanda de peças de elementos de alta precisão, máquinas precisas de fabricação são utilizadas em toda a indústria. Hoje são utilizadas mili estruturas para formar movimentos mecânicos (cinemática). Estas mili estruturas são de um único corpo estrutural e tem formas complexas. Por isso são fabricadas utilizando-se vários processos de automação. Para conceber estes processos de automação, significa dizer, que um dispositivo de posicionamento deve ser capaz de escolher, transferir e colocar os materiais na posição desejada e com precisão. A se obter vários movimentos de alta precisão é muito caro, pois são necessários equipamentos de altos preços como sensores de alta precisão, alta resolução e atuadores pequenos e precisos. Devido a estes altos custos, hoje são fabricados materiais menores usando-se uma combinação de usinagem de precisão e acabamento, que requer considerável quantidade de tempo e técnicas avançadas. A falta de tais sensores é a principal limitação para executar com êxito o controle de robôs no mundo micro e nano. (I. Aoki; T. Higuchi). Para Rakotondrabe (2010) nestes últimos anos, os obstáculos tecnológicos levaram pesquisadores a buscar uma nova concepção de sensores integrados (Silicon / PZT, etc.) para a auto detecção de materiais.

A respeito de pesquisas dirigidas ao desenvolvimento de nanomaterias, a nanotecnologia entende que:

[...] “é a ciência de materiais para o domínio de partículas e interfaces com dimensões extremamente pequenas, da ordem de um a cem nanômetros. Partículas deste tamanho, ou “nanopartículas”, apresentam uma grande

área superficial e, frequentemente exibem propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas distintas de partículas de superfícies macroscópicas. O aproveitamento dessas propriedades em aplicações tecnológicas forma a base da nanotecnologia de materiais. Há também uma área ainda incipiente na Nanotecnologia, denominada Nanotecnologia molecular ou Nano Fabricação (*nanomanufacturing*) que almeja o desenvolvimento de sistemas nanométricos auto replicantes (nano-robôs) capazes de fabricar sob medida materiais ou objetos através da manipulação da matéria a nível molecular.” (QUINA, p.1028, 2004)

1.3 OBJETIVO GERAL

Pesquisar as aplicações da Micro e da Nanotecnologia (MNT), a sua importância econômica, tecnológica, social e os benefícios e riscos que esta nova tecnologia apresenta.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Pesquisar as possibilidades de Detecção e medição de micro sistemas;
- Pesquisar o princípio de auto detecção;
- Pesquisar ferramentas Micro robóticas para a medição de pequenas forças;
- Pesquisar dispositivo de medição de pequenas forças em um nanosistema;
- Pesquisar o posicionamento de uma sonda de varredura, velocidade, medição e controle;
- Pesquisar os benefícios e riscos da Nanotecnologia;

1.4 JUSTIFICATIVA

Os grandes desafios da sociedade para o século 21 exigem soluções para melhorar ainda mais os cuidados com a saúde, melhorar os padrões de vida, aumentar a qualidade dos bens de consumo e reduzir os riscos do aumento do custo crescente de energia sem esgotar os recursos que são intensificados pela atual conjuntura econômica internacional. Estes grandes desafios foram reconhecidos pela Comissão Europeia e foram abordados pela comissão Europeia de crescimento no (*Europe 2020 strategy, 2012*).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Por tratar-se de uma pesquisa descritiva e bibliográfica, o embasamento teórico se fundamentará em bibliografias, periódicos e informativos disponíveis em sites da Web.

2.1 A IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A nanotecnologia cresce e atrai rapidamente grandes investimentos públicos e privados. Os EUA são os maiores investidores e vêm mobilizando recursos para a criação de agências federais destinadas à pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia. A partir de 2006 o valor total dos investimentos pelo governo dos EUA atingiu valores acima de US\$ 1 bilhão por ano, sendo destinados principalmente para as áreas de processo em nano escala e de sistemas de dispositivos nano métricos. Nos países da Comunidade Europeia, programas especiais para projetos de pesquisa e desenvolvimento em nano tecnologia têm como objetivo aumentar a competitividade das empresas Europeias e dos estabelecimentos de parcerias internacionais. No período de 2002 a 2006, foi investido US\$1,6 bilhão em projetos relacionados com a nanotecnologia. Já para período 2007 a 2010 foram destinados US\$ 5 bilhões, um aumento em três vezes no orçamento para Pesquisa e Desenvolvimento (P & D) em nanotecnologia em relação ao programa anterior. No Japão, foram destinados 850 milhões à área de nano tecnologia em 2005. A China já investiu entre US\$ 250 milhões e US\$ 300 milhões no período de 2002 a 2005. Os produtos chineses concentram-se no segmento de pós-nanoestruturados, e diversas empresas que comercializam produtos baseados em nanotecnologia são provenientes de centros e institutos de pesquisas. Em síntese, os investimentos mundiais em pesquisa e desenvolvimento nessa área cresceram de US\$ 1 bilhão em 2000 para US\$ 12,4 bilhões em 2006, e estimam-se investimentos na ordem de 3,1 trilhões de dólares até 2015. No cenário Mundial o Brasil ocupa a 25^a posição no *ranking*. Os investimentos nesse direcionaram-se para os setores de eletrônica, ótica, comunicações, materiais, transporte aéreo e naval, biotecnologia, engenharia de produção e agronegócios, com diversas pesquisas de ponta, tanto básicas quanto aplicadas. (ABDI..., estudo prospectivo da Nanotecnologia, p. 92-93, 2011)

2.2 A IMPORTÂNCIA TECNOLÓGICA

Em 1959 quando o físico Richard Feynman (premio Nobel em 1965), proferiu uma palestra no Instituto de Tecnologia da Califórnia intitulada “Há muito espaço lá em baixo”, chamava a atenção para o fato que na dimensão atômica trabalhava-se com leis diferentes. Por esta razão deveríamos esperar por outros tipos de efeitos e novas possibilidades aí marcou-se o inicio simbólico da nanotecnologia. Nesta palestra se apresentou a possibilidade de criar novos materiais com propriedades físicas e químicas previamente determinadas, por meio da manipulação de átomos. O desenvolvimento de instrumentos que permitiram esta manipulação, somente aconteceu em 1981 com a microscopia eletrônica de alta resolução, a microscopia de varredura (tunelamento e força atômica) trabalho de Gerd Binning¹ e Heinrich Rhoer². Este instrumento que permitiu a criação, modificação e processamento de imagens eletrônicas de átomos individuais por meio de um software desenvolvido em 1981. Ainda em 1981 a descoberta dos Fullerenos, que são a 3ª forma mais estável do Carbono, por Robert Curl, Harold Kroto e Richard Smaley e a publicação do livro de Eric Drexler³, *Engines of Creation*, também em 1981 efetivamente popularizou a nanotecnologia. (ABDI..., Cartilha sobre a Nanotecnologia, p.19-20, 2011). Os investimentos em pesquisa associados a novos conceitos, agregados a nanotecnologia, fizeram surgir uma nova fase de conhecimentos sobre a matéria. **“A matéria na forma que conhecemos, tem propriedades físicas e químicas completamente diferentes das propriedades vista em dimensões nanométricas. Quando a matéria é observada numa escala inferior a 50 nm, a diferença é bem maior que simplesmente a escala”**. (ETC Group..., p.05-16, 2003). Abaixo desta escala cientistas definem como efeito do tamanho quântico que irá prevalecer sobre a mecânica clássica que domina o mundo macro e micro. Quando a matéria é observada em escalas nanométricas, características fundamentais como: condutividade elétrica, cor, dureza e ponto de fusão, podem sofrer alteração total. Por exemplo, o Ouro quando observada na escala nano, tem cor vermelha. Materiais frágeis e maleáveis como o carbono de

¹ Físico Alemão, Premio Nobel de física (1986), pelo projeto do Microscópio de corrente de Tunelamento; Medalha Elliot Cresson (1987); National Inventor of Fame (1994)

² Físico Suíço, Premio Nobel de Física (1986), juntamente com Gerd Binning.

³ Cientista e engenheiro americano K. Eric Drexler é dono do primeiro PhD em nanotecnologia do mundo, título que obteve em 1991, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts.

cálcio (giz) pode ser mais duro que o aço. O carbono puro pode ser condutor ou semicondutor de eletricidade, etc. (ETC Group..., p.05-16, 2003). Os nano tubos de carbono que são estruturas cilíndricas formadas por átomos de carbono e que possuem alta resistência, descoberta por Sumio Iijima, no Japão em 1991. Estas novas descobertas, efetivamente colocaram a nanotecnologia, como uma nova revolução científica, o que fez o então governo Bill Clinton no ano de 2000 criar na Califórnia, o *Institute of Technology, da National Nanotechnology Initiative* com investimentos de US\$ 495 milhões de dólares. Hoje mais de 60 países investem em nanociência e nanotecnologia valor superior a US\$ 5 bilhões de dólares. (ABDI..., semana Nacional da Ciência e tecnologia, 2011)

2.3 A IMPOTÊNCIA SOCIAL

Em 2003 o *Action Group on Erosion, Technology and Concentration* (ETC) se preocupava com os rumos da Nanotecnologia. Enquanto Governos e algumas empresas se preocupavam com modificações Genéticas e questões de Biotecnologia em especial o uso de células tronco, grandes corporações e centros de pesquisas exploravam uma grande revolução científica que pode modificar a matéria e transformar os aspectos da vida em nosso planeta. Prevê-se que os impactos desta tecnologia ocorrerão primeiramente nos países do Norte, como ocorreu com a biotecnologia. “Mas terá irremediavelmente consequências em termos econômicos ambientais e sociais, também nos países em desenvolvimento. Em 2003, poucos cientistas e governos, perceberam que a Nano Tecnologia, representava tantas oportunidades, como riscos Sociais e Ambientais” (ETC Group..., p.05-16, 2003). Para a ETC a produção de materiais e novas formas de carbono com características desconhecidas é a maior preocupação. A Nanotecnologia, poderia também ampliar a construção de armas de destruição em massa. Em 2003 nenhuma agência governamental tinha controle sobre estas pesquisas. Jacob (1998, p. 100), nesta ocasião dizia que o governo e organizações da sociedade civil, deveriam estabelecer uma Comissão Internacional para avaliação e monitoramento de novas tecnologias.

2.4 O ESTADO DA ARTE

2.4.1 Circuito Biodegradável

Uma equipe de pesquisadores, composta por cientistas americanos, sul-coreanos e chineses, desenvolveu circuitos eletrônicos solúveis em água. Os materiais empregados por Suk-Won Hwang, da Universidade de Illinois (EUA), e seus colaboradores são todos biodegradáveis. A equipe montou um sistema e programou para que se degradasse depois de certo tempo quando em exposição aos líquidos biológicos. Após três semanas, foi constatado a assimilação quase total do circuito e um recuo da síndrome infecciosa. Tanto para a saúde no tratamento de feridas cirúrgicas ou para estimular a reparação óssea, quanto para a indústria eletrônica este circuito trará muitas oportunidades. Os inventores dizem poder programar a "morte" de seus componentes, através de diferentes modos: temperatura, pH ou ainda radiações. (SUK-WO, et al., 2012) ⁴

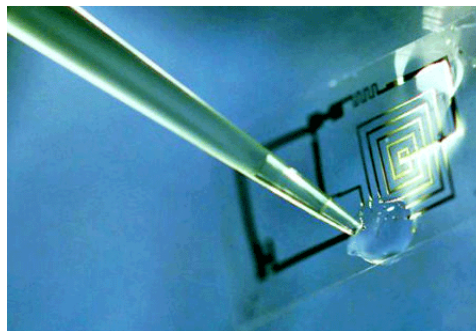


Fig. 2. Ilustrativa. Circuito Biodegradável
Fonte: Suk-Won Hwang

2.4.2 Nanoplásticos: uma poluição que mata a fome

Estudos feitos com mexilhões imersos em tanques contendo concentrações crescentes de nanoplásticos revelaram que na presença das fezes e pseudofezes produzidas pelos mexilhões, todas as conchas se fecharam em menos de 20 minutos, provando assim que estavam prestes a detectar o problema. Algumas foram reabertas em seguida com abertura de 1mm, limitando o seu poder

⁴ **Nota do Scientific Editor** - O trabalho "*A physically transient form of silicon electronics*", que deu origem a esta notícia, é de autoria de Suk-Won Hwang, Hu Tao, Dae-Hyeong Kim, Huanyu Cheng, Jun-Kyul Song, Elliott Rill, Mark A. Brenckle, Bruce Panilaitis, Sang Min Won, Yun-Soung Kim, Young Min Song, Ki Jun Yu, Abid Ameen, Rui Li, Yewang Su, Miaomiao Yang, David L. Kaplan, Mitchell R. Zakin, Marvin J. Slepian, Yonggang Huang, Fiorenzo G. Omenetto e John A. Rogers, tendo sido publicado na revista Science, volume 337, número 6102, págs. 1640-1644 (2012), DOI: 10.1126/science. 1226325.

de filtração. Antes do acréscimo de nonoesferas, a distancia que separava as duas partes das conchas era de 4mm. A pesquisa revelou outro ponto importante. Apesar de seu comportamento protetor, os mexilhões ainda ingeriram plástico. Como consequência, poderão entrar na cadeia alimentar e se acumular até que o homem os consuma. Este material contém substância tóxica. Este estudo visa mostrar que desde já é preciso o interesse pela problemática dos nanoplásticos, uma vez que a sua quantidade inexoravelmente irá aumentar. (A. WEGNER et al., 2012)⁵



Fig. 3. Ilustrativa. Poluição marítima
Fonte: Futura Sciences.

“Numerosos organismos confundem os sacos flutuantes na água com medusas (águas-vivas). O macro lixo (sacos, garrafas, caixas, etc.) constituiriam apenas 20% do conjunto de objetos de plástico que flutuam nos oceanos. Um dia, este macro lixo se degradará em micro-, depois em nanoplásticos, causando então estragos invisíveis. Atualmente, 12% dos peixes do Mar do Norte trariam resíduos no estômago. Mais de 50% dentre tais resíduos, seriam plásticos”.

Fonte: Surfrider Foundation.

2.4.3 O Grafeno, material das mil promessas

Produzido a partir do Grafite, foi isolado pela primeira vez em 2004. Em 2010, Konstantin Novoselov e Andre Geim recebem o Nobel de Física. O grafeno possui condutividade térmica e elétrica de 80 a 150 vezes maior que as do silício respectivamente. À temperatura ambiente, a mobilidade dos elétrons no interior do grafeno é de 200.000 cm² por volt, por segundo, o que corresponde a uma

⁵ **Nota do Scientific Editor** - O trabalho "*Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (Mytilus edulis L.)*", que deu origem a esta notícia, é de autoria de A. Wegner, E. Besseling, E.M. Foekema, P. Kamermans e *Environmental Toxicology and Chemistry, on-line (2012)*, DOI: [10.1002/etc.1984](https://doi.org/10.1002/etc.1984) A.A. Koelmans, tendo sido publicado na revista.

velocidade de 1000 km/s, enquanto aquela do silício não é senão de 1.400 cm² por Volt por segundo o que corresponde a uma velocidade de 7 km/s. Propriedades físicas inéditas são associadas à estrutura de monocamada do grafeno: os cientistas o descrevem como sendo o material mais fino e um dos mais resistentes conhecidos atualmente. Segundo pesquisas recentes, o grafeno teria certas propriedades adesivas, permitindo-lhe, sob forma de membrana, ser um purificador de água ou um separador de gás. O grafeno parece, portanto, um forte candidato a substituir o silício e, assim, permitir a miniaturização extrema dos transistores.

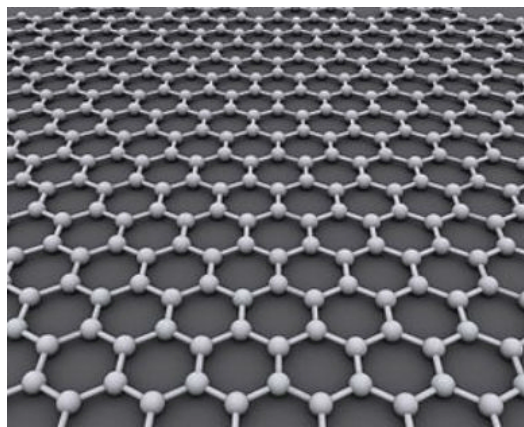


Fig. 4 Ilustrativa. Representação do grafeno.
Fonte: Wikipédia.

A produção do grafeno em escala industrial, ainda é difícil devido a sua espessura de 70 picômetros, Os atuais métodos seguem procedimentos complexos que necessitam de materiais caros o que inviabiliza a produção em escala. “Devemos encontrar melhores procedimentos para produzi-lo em grandes quantidades, de modo controlado e sem ter que utilizar material caro e especializado”, disse Izabela Kaminska, doutoranda do IChF PAN, de Varsóvia, e primeira autora da publicação. (ISABELA, et al., 2012)

2.4.3.1 Um novo procedimento de produção, simples e barato

Uma equipe franco-polonesa desenvolveu um novo método de produção do grafeno, que requer apenas o grafite, um sonicador, o tetratiofulvaleno (TTF) e peclorato férrico Fe (ClO₄). Todos estes produtos facilmente disponíveis. A separação das folhinhas de grafeno é muito difícil devido a sua espessura 70

picômetros. A primeira etapa para a separação consiste em oxidar o grafite. A incorporação de moléculas de oxigênio, realizada pelo método de Hummers, faz as folhinhas deslizarem umas sobre as outras o que favorece a separação. O pó obtido (óxido de grafite), e posto em suspensão em água e colocado em um sonicador com ondas de alta frequência que permitem esfoliar as folhas do óxido de grafeno formando estruturas constituídas de camadas de grafeno de 200 a 500 nanômetros de espessura. Segundo Izabela Kaminska “a oxidação mudou de modo espetacular as propriedades físico-químicas do grafeno. No lugar de um excelente condutor, obtivemos um perfeito isolante”. Para eliminar o oxigênio do óxido de grafeno foi acrescentado tetratiofulvaleno (TTF), um composto organo-sulforado doador de elétrons. As moléculas restantes de TTF foram eliminadas por meio de uma reação de oxidação de perclorato férrico, seguida de uma lavagem com uma solução neutra de TTF. Para se obter camadas de grafeno de algumas dezenas a algumas centenas de nanômetros de espessura, depositou-se uma gota da mistura sobre o eletrodo. No momento em que *experts* da indústria do silício anunciam o limite físico da evolução das performances da microeletrônica, esta descoberta deverá reanimar as pesquisas para a criação da eletrônica do futuro. (ISABELA, et al., 2012) ⁶

2.4.4 Criada uma fibra de alta resistência, superior ao Kevlar

Engenheiros do Departamento de Defesa dos EUA criaram uma fibra de desempenho melhor que o Kevlar na absorção de energia, sem se romper. A fibra foi criada a partir de nanotubos. O problema encontrado é que quando estes nanotubos eram agregados em feixes, perdiam essa propriedade mecânica excepcional porque deslizavam uns sobre outros quando puxados. A equipe de pesquisa resolveu o problema, adicionando um polímero para juntar um nanotubo ao outro e então o material foi preparado em forma de fibra. Este material pode absorver e dissipar grandes quantidades de energia antes de se fraturar. Material similar com uma resistência tão alta nunca foi verificado antes, e ainda com a propriedade de se manter flexível. As taxas de resistência e de falha do material

⁶ **Nota do Scientific Editor** - O trabalho "**Preparation of graphene / tetrathiafulvalene nanocomposite switchable surfaces**", que deu origem a esta notícia, é de autoria de Izabela Kaminska, Manash R. Das, Yannick Coffinier, Joanna Niedziolka-Jonsson, Patrice Woisel, Marcin Opallo, Sabine Szunerits e Rabah Boukherroub, tendo sido publicado na revista Chemical Communication, Volume 48, págs. 1221-1223 (2012), DOI: 10.1039/C1CC15215G.

resultante foram testadas fazendo-se uso de um Microscópio Eletrônico de Varredura. Essas fibras poderão ser utilizadas para uma ampla gama de aplicações em defesa e na indústria aeroespacial (LEQS, News. 2012).

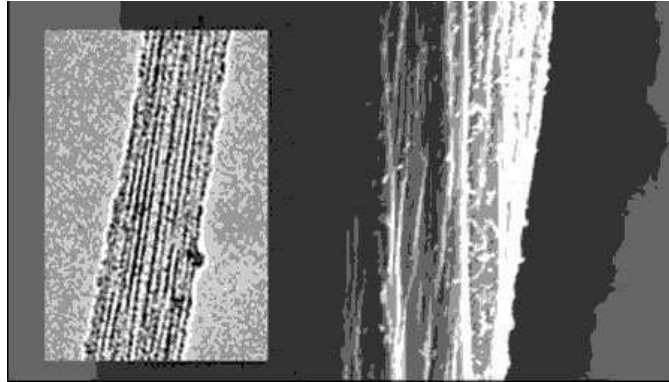


Fig. 5 Imagem de microscopia eletrônica da fibra de nanotubos de carbono de parede dupla e polímero, a qual apresenta resistência e robustez.

Fonte: Northwestern University.

“Os nanotubos de carbono, blocos de construção nanométricos das fibras desenvolvidas, ainda são 50 vezes mais fortes do que o material que nós criamos, disse Mohammad Naragh. Se conseguirmos uma melhor eficiência em promover as interações entre os feixes pode tornar o material ainda mais forte.” (NARAGHI, 2010).⁷

2.4.5 Microscopia de Força Atômica (AFM)

Pesquisadores usaram um microscópio de força atômica para estudar três tipos bastante distintos de células e para demonstrar o amplo potencial de aplicação deste método, disse Arvind Raman, professor de engenharia mecânica da Universidade Purdue, nos EUA.

⁷ **Nota do Scientific Editor:** o trabalho que deu origem a esta notícia: "**A Multiscale Study of High Performance Double-Walled NanotubePolymer Fibers**", de autoria de Mohammad Naraghi, Tobin Filleter, Alexander Moravsky, Mark Locascio, Raouf O. Loutfy e Horacio D. Espinosa, foi aceito na revista ACS Nano e pode ser acessado no link <http://dx.doi.org/10.1021/nn101404u>

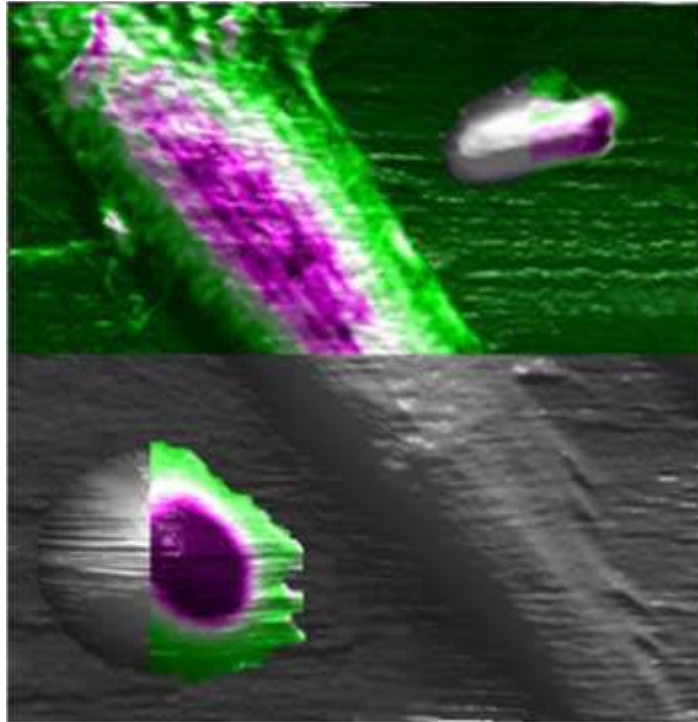


Fig.6 Comparação de microscopia convencional com AFM
Fonte: Universidade Purdue/Alexander Cartagena.

“Essa concepção artística revela o uso de um microscópio de força atômica para estudar as propriedades mecânicas das células, uma inovação que pode resultar em uma nova forma para diagnosticar doenças e estudar processos biológicos. Aqui, três tipos de células são estudados usando o instrumento: um fibroblasto de rato que corresponde à célula estreita e alongada no centro, uma bactéria *E. coli* que está no canto superior direito e um glóbulo vermelho humano que está no canto inferior esquerdo. As partes coloridas mostram o benefício dessa nova técnica, representando as propriedades mecânicas das células, enquanto as porções em tons cinza representam o que era possível até então usando uma abordagem convencional.” (A.ROMAM, et al., 2011)

Este AFM pode ser utilizado para estudar células que aderem aos tecidos, que é fundamental para entender muitas doenças e processo biológicos; como as células cancerígenas evoluem durante a metástase e como reagem a estímulos mecânicos necessários para estimular a produção de proteínas vitais; como se comportam as células sob a influência de drogas que inibem o câncer, para se compreender melhor estes mecanismos envolvidos.

Um microscópio de força atômica utiliza uma pequeníssima sonda vibrante para mapear as propriedades mecânicas das menores estruturas celulares em escala nanométrica, ou seja, uma bilionésima fração do metro. O AFM permite

que cientistas “vejam” objetos muito menores que os possíveis usando microscópios óticos convencionais. (A.ROMAM, et al., 2011) ⁸

2.4.6 Transistores com base em nanotubos de carbono.

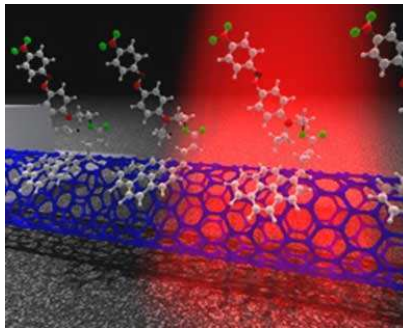


Fig.7 ilustrativa. Estrutura de um Nanotubo de Carbono.
Fonte: Americanlements

Cientista já imaginavam circuitos lógicos utilizando nanotubos. Diziam que era pouco provável que transistores com base de nanotubo pudessem vir a concorrer economicamente com a eletrônica convencional devido à necessidade de portas (Gates) de metal para controlar o escoamento das correntes. Nature, 2005.

Seus idealizadores esperam que ele possa substituir os chips de silício para fornecer componentes mais rápidos, menores e com melhor preço. O dispositivo é um nanotubo em "forma de Y" e se comporta como um transistor. A corrente pode circular em um ramo ou no outro, conforme a *tensão* que se aplica ao terceiro. A comutação é perfeita, estando a corrente presente ou ausente, sem estado intermediário.

⁸ **Nota do Scientific Editor:** o trabalho que deu origem a esta notícia é: "**Mapping Nanomechanical Properties of Live Cells Using Multi-harmonic Atomic Force Microscopy**" de autoria de A. Raman, S. Trigueros, A. Cartagena, A. P. Z. Stevenson, M. Susilo, E. Nauman, e S. Antoranz Contera foi publicado online na Nature Nanotechnology e pode ser acessado no link <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22081213>

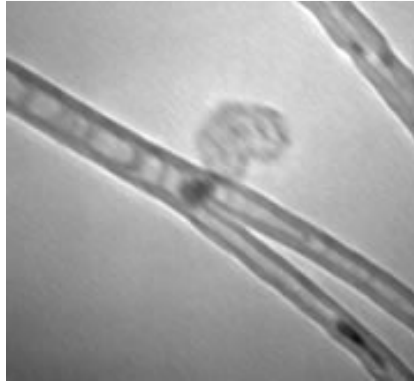


Fig.8 Nanotubo em Y.

Fonte: Prabhakar Bandaru/UCSD

Prabhakar Bandaru - cientista de materiais da Universidade da Califórnia (UCSD) em San Diego (EUA), que dirigiu a equipe de idealizadores, diz que "O pequeno tamanho e a **comutação perfeita** desses nanotubos fazem deles excelentes candidatos a uma nova classe de transistores".

Os cientistas obtiveram seus nanotubos em "Y", juntando um catalisador de titânio-ferro a um conjunto de nanotubos retos durante seu crescimento. No momento em que uma partícula do catalisador se "cola" sobre o lado de um nanotubo, forma a base de uma nova ramificação. (BANDARU, et al., 2005)

A fabricação de minúsculos chips, capazes de permitir enorme "capacidade de cálculo", acabou por redundar em fugas de corrente cada vez maiores. Como consequências, superaquecimento, desperdício de energia que podem provocar falhas de comunicação. De acordo com experts, o tamanho mínimo possível dos chips de silício logo será atingido. Um trabalho equivalente deverá ser feito por cientistas com os nanotubos de carbono. As folhas enroladas de átomos de carbono conduzem a eletricidade e ocupam um espaço bem menor que os circuitos de silício, não medindo senão alguns bilionésimos de metro de largura. Conforme Hongqi Xu, físico da Universidade de Lund, na Suécia, é aí que os nanotubos podem entrar com força total, podendo ser feitos via métodos químicos relativamente baratos, os quais evitam os trabalhosos procedimentos de superposição de camadas e de gravação, atualmente empregados para fazer os circuitos.

Pesquisadores do Instituto Leibniz produziram nanotubos de folhas de metal cobertas e revestidas com platina, nos quais foram armazenados remédios. Quando esses nanotubos entram em contato com uma substância fraca de peróxido de hidrogênio, (levemente aquecida) a platina reage, vira catalisadora do peróxido gerando água e oxigênio. Isso faz com que a capsula gere bolhas de gás e seja impulsionada pelo ambiente na qual está inserida. (Revista New Scientist; 2012).

2.4.7 Robôs-aranha injetados no corpo humano

Cientistas da Pensilvânia Capte University criaram pequenos robôs que lembram aranhas e são capazes de percorrer livremente nossa corrente sanguínea. O objetivo é uma nova forma de curar danos a vasos e órgãos de pacientes. Os robôs-aranha foram criados a partir de uma esfera de um micrômetro de diâmetro. O micro-robô é feito a partir de ouro e sílica que recebe uma molécula catalisadora capaz de realizar uma reação química que faz com que se movimentem. Inserir nano robôs no organismo não é uma novidade, mas esta é a primeira vez que apenas reações químicas são capazes de movimentá-los. “Nos testes realizados, os nanos robôs foram capazes de seguir substâncias como a glicose, mas no futuro devem percorrer livremente o sistema circulatório, depositando remédios pelo caminho e auxiliando na cura de vasos danificados”. (Revista New Scientist. 2012)

Na Columbia University de Nova York, equipe de cientistas criaram a “aranha bot” com apenas quatro nanômetros de diâmetro. Isto é 100.000 vezes menos que o diâmetro de um fio de cabelo humano. Estes nano robôs, podem andar. Virar e até criar pequenos componentes de sua própria linha de montagem em nano escala. Estes robôs, no futuro poderão fazer limpeza de artérias ou a construção de componentes de computador em nano escala.

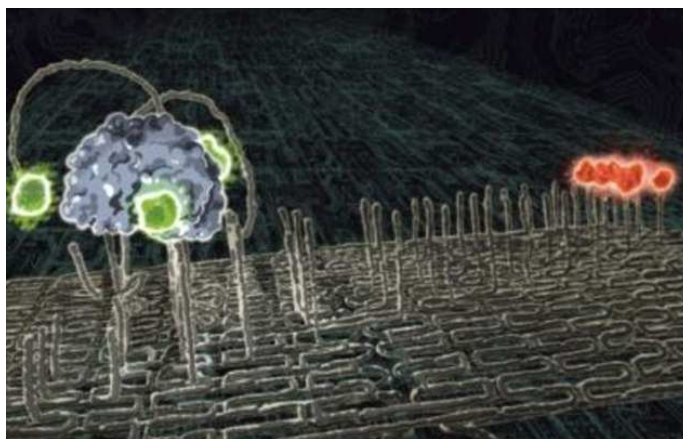


Figura 9: Robôs Aranha
Fonte: Mail online Science & Tech

Para assistir a **aranha** em movimento, os pesquisadores usaram microscopia de força atômica, que mostrou os robôs moleculares após quatro caminhos diferentes.

O Professor Hao Yan da Universidade Estadual do Arizona disse: "Este pode caminhar cerca de cerca de 100 nanômetros. Isso é cerca de 50 passos". O passo seguinte é a forma de fazer a aranha andar mais rápido e como torná-lo mais programável, de modo que pode seguir vários comandos na pista e tomar mais decisões. (MAIL ONLINE Science & Tech, 2010)

2.5 POSSIBILIDADES DE DETECÇÃO E MEDIÇÃO EM MICRO E NANOSISTEMA

Serão focados neste estudo particularmente **atuadores piezelétricos** com base em estruturas de balaço.

2.5.1 Especificidades das Microescalas

As variáveis descritas estão relacionadas com deslocamento e força a níveis de microescala. Micros e Nanosistemas exigem estudos e desenvolvimentos específicos. Considerando que a reunião de componentes micrométricos exige a assistência de sistemas robotizados. O desenvolvimento de microconjuntos automatizados é fundamental para a produção de produtos micromontados. Sistemas de microescalas ou atuando em microescala requerem a integração de microsensores e atuadores (D. O. Popa; p.345-361, 2009). Em sistemas de microescala, para se obter um posicionamento de precisão e resolução utilizam-se faixas sub micrométricas e forças na escala micro nano Newton. Além disso, algumas aplicações requerem sensores de alta largura de banda como, por exemplo, a automação de robôs de micro manipulação baseados em peizoelétricos. Sensores que atingem estes desempenhos são volumosos e caros (interferômetros, microscópios eletrônicos, câmeras e sensores a Laser). A maioria desses sensores permitem medições em 1 ou 2 D. Sensores compactos, sensores piezo cerâmicos são muito frágeis e tem performances e robustez limitadas. A falta de conhecimento e experiências na microescala é uma fonte de grandes dificuldades para aplicações em micromanipulação e microconjuntos (M.GAUTHIER, p.389, 2006). Todas estas

especificidades micro requerem desenvolvimento de novos sensores e princípios de sensoriamento buscando alta resolução e dinâmica eficiente.

2.5.2 Atuadores de haste Piezoelétricos (*Piezocantilever*).

São atuadores dedicados a tarefas de micromanipulação e micro conjuntos onde a escala de deslocamento é extremamente pequena, chega a centenas de μm e a escala de força até algumas dezenas de mN . Estes atuadores são utilizados em micro garras, micro pinças, AFM-piezotubos (Microscópio de Força Atômica - piezotubos), micros robôs etc. Um atuador *piezocantilever* (haste piezoelétrica) com seção retangular é composto por uma camada piezoelétrica PZT (titanato zirconato de chumbo), de cerâmica e uma camada passiva a qual comumente é composta por Níquel. Existem diversos tipos de Piezoatuadores, como unilaminar (unimorph), pilha (stack), bilaminar (bimorph), flextensional, etc. Ao ser aplicada uma tensão U na camada piezo a haste se expande ou se contrai, resultando uma deflexão total da haste ver Fig.10. Também uma força F aplicada em sua ponta resulta em uma deflexão.

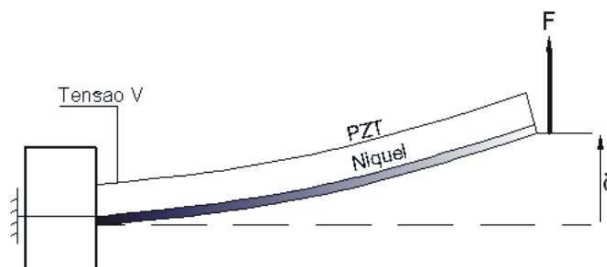
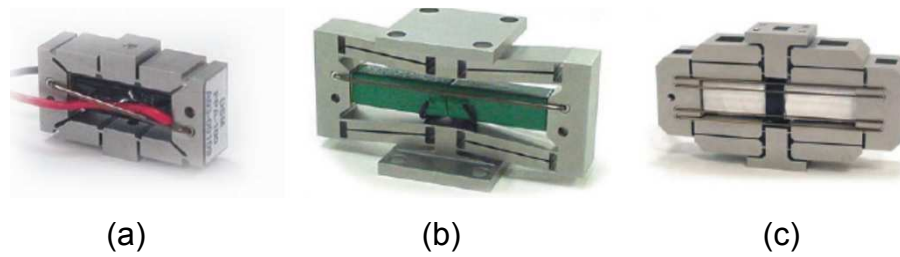


Fig. 10 - Haste Piezoelétrica *Unimorph*
 Fonte: Adaptado de Rakotondrabe et. al. (2006)

Na figura 11 (a) tem-se o FPA-100 utilizado em aplicações onde se necessita posicionamentos precisos e exatos pode trabalhar em regime estático ou dinâmico, possui curso de $145 \mu\text{m}$. Na figura 11 (b) tem-se o FPA-500 utilizado em aplicações estágios de posicionamento XYZ possui curso na ordem de $500 \mu\text{m}$. Na figura 11 (c) tem-se o FPA-900 que possui deslocamento na ordem de $900 \mu\text{m}$ e pode ser fabricado numa versão que puxa o objeto ao invés de empurrá-lo. (SAKAMOTO; J.M.S., 2012).

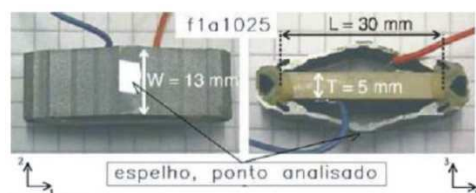


**Fig. 11 - Atuadores piezoelétricos comerciais
FPA-100; (b) FPA-500; (c) FPA-900.
Fonte: Sakamoto (2006).**

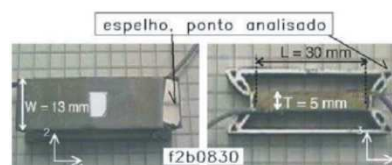
No Brasil destaca-se o grupo de pesquisas de sensores e atuadores da EPUSP/Mecatrônica (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo) com vários resultados obtidos no projeto e pesquisa de estruturas metálicas flexíveis para atuadores Piezoelétricos flexensionais. Alguns exemplos são ilustrados na figura 12 (SAKAMOTO; J.M.S., 2012).



(a)



(b)



(c)

**Fig. 12 - Atuadores piezoelétricos projetados pelo Grupo da EPUSP
(a)f1a-20827; (b) f1a1025; (c) f2b0830
Fonte: Sakamoto (2006)**

Estes atuadores podem ser aplicados em instrumentos óticos como interferômetros, na fabricação de circuitos integrados, micromanipulação, robótica, posicionamento de espelhos telescópios, impressoras, cabeças de leitura de disco rígido, freios aerodinâmicos etc. A figura 13 mostra controle com atuador.

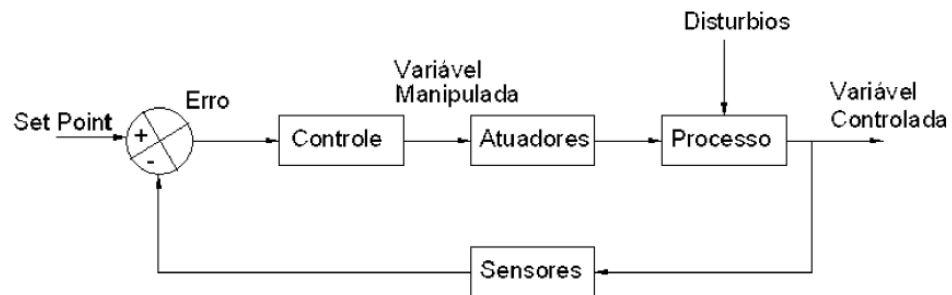


Fig. 13 - Diagrama de bloco de controle, com atuador
Fonte: Adaptado de PCS 2038 conceitos gerais de automação

2.5.3 Sensores que podem ser usados para controlar atuadores piezoelétricos baseados em *cantilevers* (hastes)

Para medir deslocamento, sensores de deslocamento ótico são comumente utilizados. Estes sensores oferecem uma resolução de até 10nm e *range* de $\pm 150 \mu\text{m}$ de intervalo. Se necessário uma maior escala e resolução, um sistema de medição por interferômetro pode ser a solução. As desvantagens dos sensores óticos são o seu tamanho e custos relativamente altos. Por este fato eles não se adaptaram em microsistemas de alto desempenho motivo que levou ao desenvolvimento de sensores embarcados, como os que serão citados a seguir.

2.5.3.1 Extensômetros

Quando colocados sobre a superfície da haste piezoelétrica o deslocamento ou força podem ser medidos. A resolução e precisão dependem da qualidade da ponte de *wheatstone* e do amplificador. Com tamanho pequeno e baixo custo, o extensômetro tem sido usado em numerosas aplicações no campo da micro manipulação e microconjuntos. (M. GOLDFARB; N. CELANOVIC, p.17, 1999) Suas principais desvantagens são a sua fragilidade e a sensibilidade a ruídos, que pode

ser melhorada com a utilização de filtragem de Kalman ver figura 16. A figura 14 mostra o diagrama de blocos para medição de deformação.

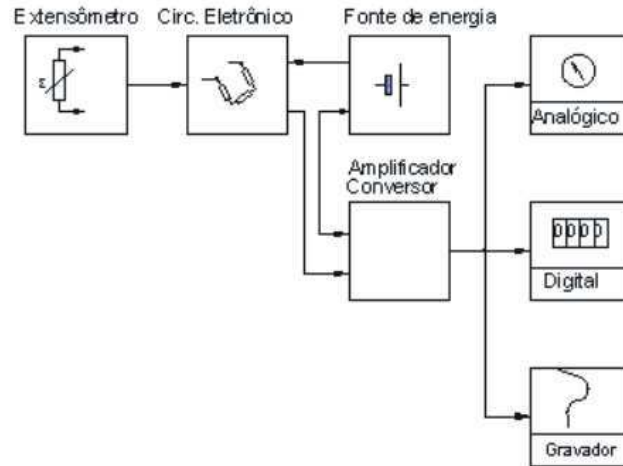


Fig.14 - Diagrama de bloco para medição de deformação por extensômetro
 Fonte: Adaptado da Apostila de extensometria GRANTE da UFSC

2.5.3.2 Sensor piezelétrico

Consiste em colocar dois canais de elérodos sobre a superfície do *peizocantilever*. Enquanto um par é usado para fornecer a tensão de entrada para a atuação, o outro é utilizado para medir a carga de saída para a detecção do deslocamento/força (Y.SUN, et. al.). É um dispositivo que usa o efeito piezelétrico para medir pressão, aceleração, tensão ou força, convertendo-os num sinal elétrico. São construídos com materiais piezelétricos como o PZT ou PVDF (difluoreto de vinilideno) estes materiais se polarizam ao sofrer uma deformação

2.5.3.3 Sensores capacitivos

Estes sensores são baseados no princípio capacitivo. Da mesma forma que os sensores piezelétricos eles podem ser construídos com o mesmo volume que o atuador. O elemento sensor e o elemento atuador são feitos do mesmo material esta característica faz com que sejam adaptados às técnicas de micro fabricação. (Y.SUN, et. al.)

2.5.3.4 Sensores Piezomagnético

Estes sensores são baseados em transdutores que mudam a magnetização quando são submetidos a um esforço mecânico. (Y.SUN, et. al.,2002).

2.6 TÉCNICAS DE CONTROLE COMUMENTE USADAS

A medição de força ou deslocamento é a variável a ser controlada e arranjos de controladores em cascata são comumente usados. A figura 15-a mostra o esquema de bloco do controle de realimentação de saída usando controladores em cascata. A figura 15-b mostra uma série de resposta ao degrau em malha fechada. Como é visto o resultado satisfaz as especificações exigidas em micro manipulação e microconjuntos, com a precisão micrométrica de algumas dezenas de mili segundos de tempo de repouso. (RAKOTONDRABE, et., al.,2010)

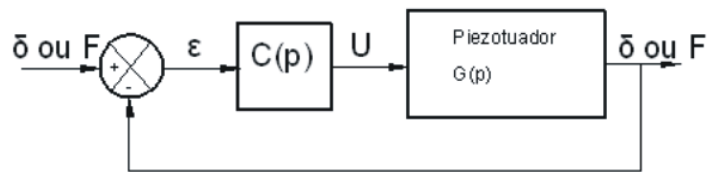


Fig. 15 (a) Diagrama de bloco de controle de realimentação em cascata
Fonte: Rakotondrabe, et. al. (2010)

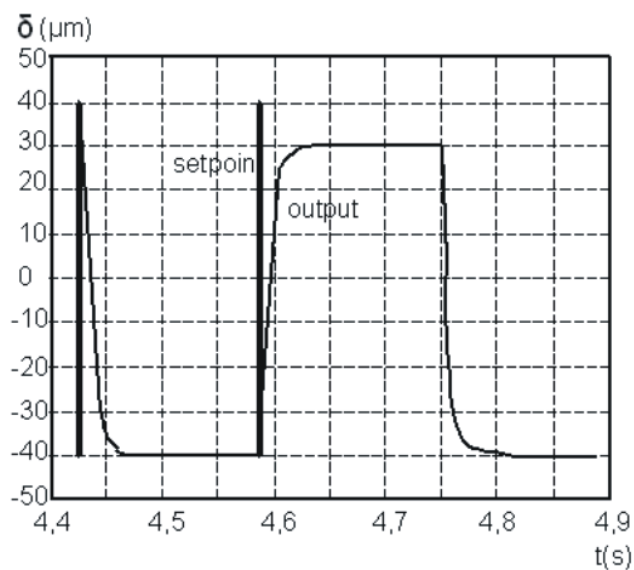


Fig.15 (b) Resposta ao degrau em malha fechada.
Fonte: Rakotondrabe, et.al. (2010)

2.7 ESTIMATIVAS DE FORÇA USANDO O OBSERVADOR DE LUENBERGER

Quando não é possível medir um sinal desejado, por falta de sensores adequados ou por questões físicas, a solução é estimar os estados do sistema por meio de medidas disponíveis utilizando o observador de Luenberger que faz a estimativa através de um modelo matemático. Para o *piezotuator* apresentado na Fig.15-a, o modelo ligando a entrada de tensão U , a força F aplicada na ponta da haste e a deformação linear, neste caso a deflexão (δ) é dada pelo modelo matemático:

$$\delta = d_p.U.D(s) + s.p.F.D(s) \quad (1)$$

onde, d_p e $s.p$ são os coeficientes piezelétricos e de elasticidade respectivamente e $D(s)$ (D com $(0)=1$) é a parte dinâmica. Porém quando o campo elétrico se eleva quando aplicada uma tensão U o comportamento não linear de materiais piezoelétricos devem ser considerados quando aplicado um observador. Neste caso o modelo não linear do atuador é:

$$\delta = (H).U.D(s) + Cr(s).U + s.p.F.D(s) \quad (2)$$

onde H é um operador que descreve a estática e $Cr(s)$ a histerese que é uma aproximação linear do arrastamento. (RAKOTONDRABE, et., al., 2010)

2.8 EXTENSÔMETRO, FILTRO DE KALMAN FEEDBACK DO CONTROLE DE ESTADO

Sensores extensômetros foram usados para medir a deflexão do piezocantilever, com a finalidade de reduzir o tamanho do microsistema (atuadores e sensores). Para reduzir o ruído dos sinais medidos, foi aplicada uma filtragem de Kalman com o modelo linear da equação (1). Além de reduzir os ruídos esta técnica permite estimar os estados do sistema e controlar a realimentação Fig.16. (Y. ADDAB, Q. CHEN; P.LUTZ, 2009.)

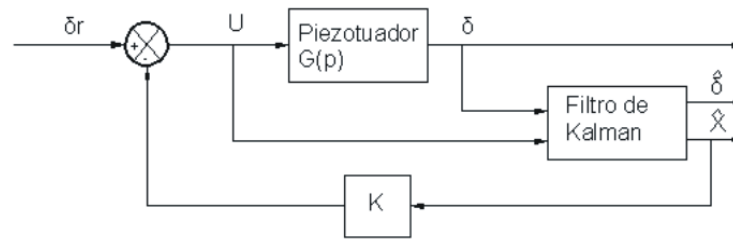
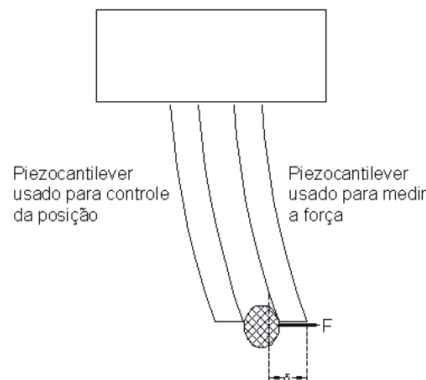
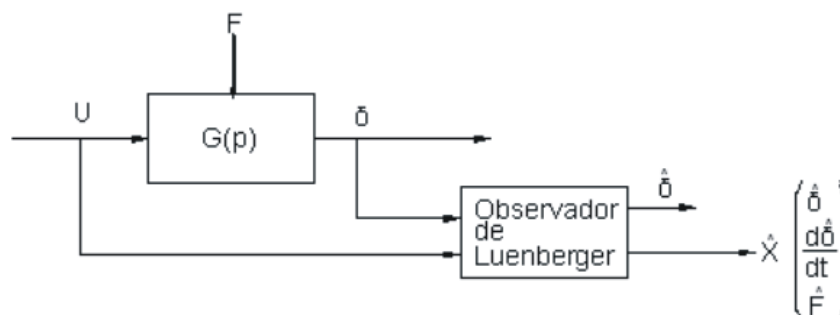


Fig. 16 Medição de deflexão (δ) com extensômetro usando filtro de Kalman
 Fonte: Adaptado de Y.Haddab, Q.Chen and P.Lutz (2009)

Na figura abaixo foram usados dois, dois *piezocantilevers* formando uma micro garra. Enquanto uma garra é usada para posicionar o objeto manipulado com exatidão, a segunda garra é usada para estimar a força de manipulação Fig. 17-a. Considerando que uma ou mais variável usada para o *feedback* não podem ser medidas diretamente, neste caso a utilização de técnicas de observação é aconselhável, fig.17-b. (Y.HADDAB, 2000)



(a)



(b)

Fig. 17 (a) *Piezocantilever* para estimar a força de uma micro garra de manipulação. (b) estimativa de força utilizando o observador Luenberger.

Fonte: Adaptado de Y.Haddab (2000)

2.9 PRINCÍPIO DE AUTO DETECÇÃO

Sensores de precisão como descrito anteriormente, são volumosos e caros, enquanto sensores integrados são robustos e frágeis. Uma alternativa simples e de baixo custo para maioria dos atuadores piezelétricos, é a técnica de auto detecção. O princípio da auto detecção, consiste em utilizar o atuador também como sensor. Quando uma tensão U ou uma força F externa são aplicadas no *piezocantilever* ele se curva. Usando um amplificador de carga (circuito eletrônico) e um observador, é possível estimar tanto o deslocamento, como a força (A. Ivan; et. al.2009). Esta técnica pode ser utilizada em um sistema de malha fechada sem a necessidade de sensores externos Fig. 18.

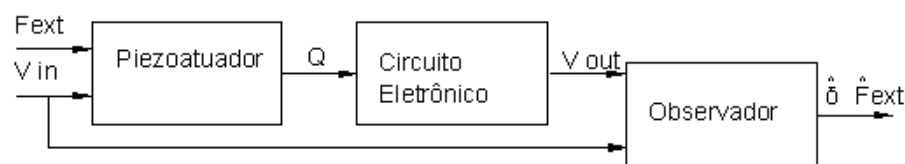


Fig.18 Princípio geral de um sistema de auto sensoriamento
Fonte: Adaptado de A. Ivan (2009)

As vantagens do auto sensoriamento são: o custo, pois sensores externos não são necessários; o sistema será mais flexível em termos de espaço o que permite uma melhor miniaturização; a dinâmica dos atuadores não será afetada por sensores ligados mecanicamente; o numero de cabos de ligação será reduzido. A desvantagem consiste na adição de um circuito eletrônico, composto de uma ponte capacitiva (ou divisor) ou um integrador de corrente.

2.10 FERRAMENTAS MICRO ROBÓTICA PARA MEDIR PEQUENAS FORÇAS

Um dos principais objetivos da engenharia na microrrobótica é a detecção de forças em microescala, para fornecer uma realimentação para o controle de processo de micromanipulação. A calibração da detecção de microforças, assim como métodos para calcular a detecção das incertezas, continua sendo umas das partes mais desafiadoras deste processo. Na ciência dos materiais e na ciência da vida a medição de propriedades mecânicas das amostras é cada vez menor. Nos

últimos anos o foco da biologia vegetal, por exemplo, passou do estudo de todo o corpo para o estudo do comportamento de uma única célula. (ISO...,1995)

2.10.1 Ferramentas baseadas em sensores Capacitivos para medição de microforças

“Sensores Capacitivos oferecem vantagens como uma alta relação sinal/ruído e com capacidade de medir a razão bem como forças estáticas dinâmicas com frequência de até poucos kHz. Alguns deles sem nenhuma sensibilidade às condições de temperatura, umidade ou iluminação”. A principal desvantagem do sensor capacitivo de posição ou de força é a relação não linear entre modificação da capacitância e a distância do eletrodo. Os sensores aqui abordados são sensores capacitivos capazes de medir microforças no intervalo nano a mili Newton. Sensores de força Capacitivo de um, dois ou três eixos ver a Fig. 19-a, consistem de um corpo suspenso por articulações dentro de um quadro externo. Forças aplicadas na sonda ligada ao corpo móvel em movimento relativo do corpo e da moldura podem ser medidas por eletrodos capacitivos com a mudança da capacitância. Quando o sensor se move em múltiplas direções e usando-se vários sensores capacitivos de deslocamento as forças em vários eixos podem ser medidas. As combinações de sensores de força eletrostática com atuadores podem realizar

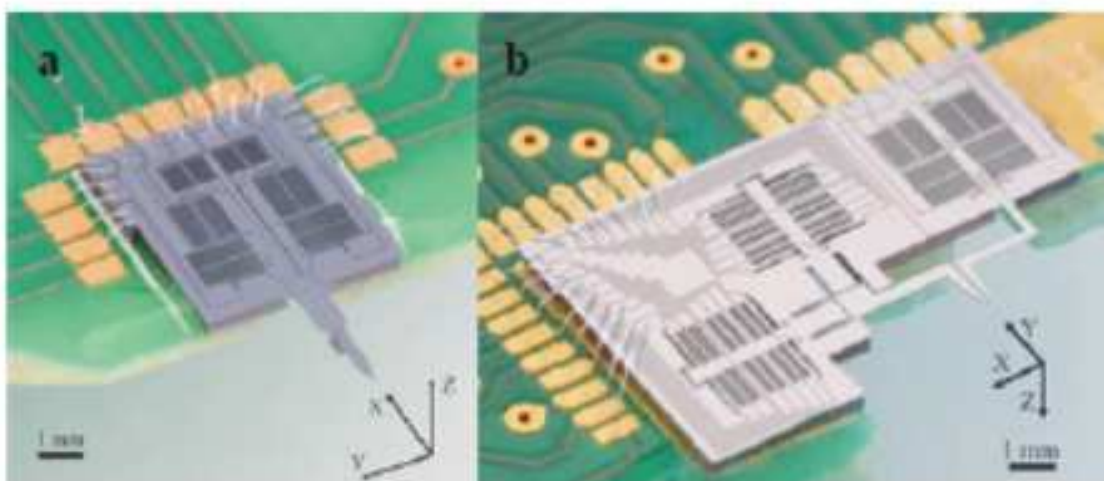


Fig. 19 (a) MEMS baseado em sensor Capacitivo de micro força, (b) Integrado monolítico de dois eixos para teste de micro tração.

Fonte: F. Beyeler, et al, (2008).

sistemas completos de medição conforme a Fig. 19-b. Para a fabricação destes sensores são utilizadas processos de microfabricação, MEMS (Sistemas Micro Eletro Mecânicos) usando silício sobre isolante (SOI) que é descrito em (F. Beyeler, et. al., 2008). Os sensores de microforças mais utilizados são os AFM (Microscópio de força Atômica), o que levou ao desenvolvimento de um grande número de métodos para calibrar as forças na faixa de micro e nano Newton. No entanto a precisão destes métodos não é reconhecida pelo Sistema Internacional de medidas (SI). Por esta razão os sensores de posição e de força são calibrados por comparação com um padrão de referência. Por exemplo, para a medição do deslocamento de um microscópio com câmera acoplada a calibração é feita usando um pré-alvo ótico padrão (USAF 1951, Edmund optics). Os sensores de força são calibrados utilizando-se pesos com uma massa conhecida Pré-calibrada utilizando uma micro balança (XS205DU, Mettler Toledo) com a qual a incerteza é conhecida. Utilizando um micro manipulador o sensor de força de referencia é empurrado contra o sensor a calibrar. Ao comparar as tensões de saída e a força aplicada no sensor, o coeficiente de calibração pode ser encontrado. (N. A. BUMHAM, et. al., 2003)

2.10.2 Análise de Incertezas

“O resultado de uma medição é apenas uma aproximação do valor da grandeza medida esta medida somente estará completa, quando acompanhada de uma declaração estimada da incerteza. Além dos coeficientes de calibração, a maioria das características importantes dos sensores são medidas e sua influência sobre a incerteza de medição é calculada. O comitê misto para guias de Metrologia (JCGM) do *Bureau des Poids et mesures International* (BIPM) tem um grupo de trabalho com responsabilidades para a expressão na medição de Incertezas (GUM) Este grupo publicou o Guia ISO para a expressão de incertezas em medição que se tornou internacionalmente aceita como documento Mestre para avaliação destas Incertezas.” (ISO..., 1995)

2.11 DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DE PEQUENAS FORÇAS EM UM NANOSISTEMA

A microscopia de Força Atômica (AFM) é uma poderosa ferramenta de medição para detectar forças muito pequenas em nível de sub Nano Newton. Desde

o primeiro aparelho projetado por G. Binnig e H. Rohner em 1986 muitos modos para extrair imagens e propriedades físicas de uma amostra foram desenvolvidos. No entanto, o princípio continua sendo praticamente o mesmo com a utilização de uma micro alavanca (*cantilever*), tendo uma ponta no seu final onde uma força será aplicada. O movimento desta microalavanca é gerado por uma força externa através de técnicas de desvio ou deflexão do ponto laser, interferômetro, microalavanca piezométrica etc. Como a resposta deste sinal de força pode diferir do sinal real, o método proposto para esta medição é através da reconstrução da força por meio da estratégia de observador. Processos biológicos, como Replicação de DNA síntese de proteínas, ou interação de drogas, são fortemente regulados por forças intermoleculares. Como o AFM mede forças na faixa de sub Nano Newton é possível quantificar a interação molecular em sistemas biológicos. Além de medir forças de ligação o AFM pode também investigar as propriedades micromecânicas de amostras biológicas, pois é capaz de observar a elasticidade e a viscosidade das amostras, como células vivas e membranas. O princípio básico de funcionamento do AFM pode ser entendido a partir da figura 20. É composto basicamente de um *cantilever* tendo uma ponta apontada para uma amostra. Tanto o *cantilever* como a amostra são posicionados por meio de um par de *drivers*. A deflexão da extremidade da alavanca é mostrada por **Z** esta deflexão é gerada pelas forças que aparecem entre a ponta do *cantilever* e a amostra. Uma tensão de polarização é colocada sobre a ponta em relação à amostra, a qual gera uma força eletrostática **F_e** sobre a ponta. O movimento da alavanca no eixo X é captado por meio de um sistema de deflexão do feixe de laser. Outros métodos de operação têm sido implantados para executar a análise de amostras. A maioria destes métodos mantém o estado mecânico da alavanca constante e muda a distância da amostra com relação à ponta do *cantilever* durante a digitalização da superfície da amostra. Com esta operação é possível obter a topologia da superfície da amostra. Além da captura do movimento também é possível extrair propriedades físicas da amostra como: eletrostática, magnética, térmica e mecânica. Neste contexto a força não é um pré-requisito importante. O importante é medir a força entre a amostra e a ponta do *cantilever* por meio da deflexão Z (A. VODA; G. BESANC, 2002)

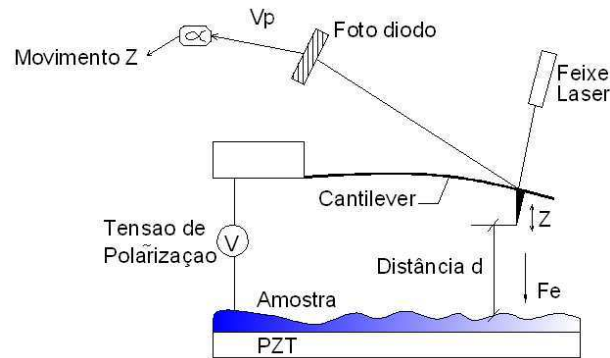


Fig. 20 Funcionamento básico de um Microscópio de Força Atômica (AFM).
Fonte: Adaptado de Albrecht et. al. (2002)

2.12 POSICIONAMENTO DE SONDA DE VARREDURA, VELOCIDADE, MEDIÇÃO E CONTROLE

Um Microscópio de sonda de varredura (SPM) requer controle de posição dentro de uma resolução subatômica. O posicionamento de precisão é requisito fundamental em todas as aplicações do (AFM) tanto na direção lateral como vertical para manter a sonda no local desejado. Quando a sonda é utilizada sobre uma superfície de semicondutores para criar pontos quânticos (2^{-80} nm de tamanho) o controle de posição da sonda tem que ser preciso, pois o erro de posição afeta diretamente o tamanho, espaçamento e distribuição das nano características o que afeta suas propriedades (D. Leonard et. al., 1986). Também é necessário uma alta velocidade e controle de movimento da sonda para a transferência de imagens e medidas. Sem o controle de um movimento preciso em alta velocidade, pode-se causar colisão da ponta da sonda com a amostra e como consequência danificar a ponta da ferramenta ou as amostras moles como células. Por isso o rastreamento da saída do posicionamento é fundamental na Microscopia de Força Atômica. Atuadores Piezelétricos são utilizados quase que exclusivamente em microscópios de sonda de varredura devido a sua alta velocidade, tamanho compacto e resolução (G. Binning; S. O. R., 2008). Embora construídos a partir de *scanners*, atuadores piezelétricos tem uma resolução extremamente elevada. A exatidão é limitada pela histerese (S. Devasia; E. Eleftheriou; S. O. R. 2007). O erro de posicionamento devido à histerese num atuador tubo piezelétrico tem sido mostrado como sendo $\pm 9,7\%$ da faixa de varredura, isso significa um posicionamento de erro máximo de quase 20% entre os caminhos para frente e para trás. (A. J. FLEMING; K. K. LEANG, 2008).

A técnica mais utilizada para o controle de sistemas com acionamento piezelétrico é baseada em sensores de controle de *feedback* com um controlador integral ou proporcional-integral. No entanto a largura de banda de tais sistemas fica limitada pela baixa margem de ganho em malha fechada que é de duas vezes o produto da relação de amortecimento (ξ) pela frequência natural (ω_n). (A. J. FLEMING, Nanopositioning..., 2009).

$$\text{Max. Largura de banda malha fechada} < 2\omega_n\xi \quad (1)$$

Esta é uma limitação grave com relação ao amortecimento que é geralmente na ordem de 0,01, deste modo a máxima largura de banda em malha fechada é menor que 2% da frequência de ressonância. Para melhorar a largura de banda em malha fechada utiliza-se filtro de ranhura ou um controlador de amortecimento que é menos sensível às variações em frequência de ressonância. Além disso, a largura de banda de um amortecimento maior, baseada em controladores de inversão aumenta a quantidade de ruído de posicionamento. Para se alcançar uma resolução adequada, tecnologias de medição e técnicas de controle foram recentemente desenvolvidas para nano e microssistemas de posicionamento por meio da fabricação de sondas para microscopia. Lembrando que ainda existem limitações e desafios para se alcançar esta resolução.

Ao contrário do controle de *feedback*, que reage à medida que o erro é detectado, o controle de *feedforward* compensa ou antecipa o desempenho dos efeitos dinâmicos e da histerese nos sistemas de nano posicionamento. O *feedforward* explora algumas informações sobre o sistema, e assim, um controlador bem projetado *feedforward* requer conhecimento da dinâmica da planta e não linearidades. Um modelo inverso ver figura 21 (a) produz a entrada *feedforward* que é aplicada ao sistema de nano posicionamento. As incertezas do modelo de malha aberta é muitas vezes um desafio no controle *feedforward*, no entanto as vantagens são superiores às desvantagens principalmente com relação à alta velocidade de resposta quando utilizado em microscópio de sonda de varredura (A. J. Fleming, Robotics..., 2077). O controle *feedforward*, proporciona elevada largura de banda de posicionamento, que excede o de retorno baseado em outros métodos (D. Groft; G.

Schitter, 2004). Temos que considerar também que o controle *feedforward* não requer *feedback* contínuo do sensor assim os ruídos do sensor são evitados inteiramente.

O comportamento de entrada e saída de um sistema de nano posicionamento é bastante complexo, devido à estrutura dinâmica e as não linearidades como a histerese. Um modelo popular que descreve a dinâmica e não linearidade em um piezo atuador é o modelo em cascata, como representado na figura 21 (b) (G. Schitter; A. Stemmer, 2004), e já citado em 2.1.8. Ainda para determinar uma entrada *feedforward* para controle da saída com precisão e alcançar alta velocidade de posicionamento, cada submodelo é invertido, como ilustrado na figura 21 (c), onde $u_{ff}(t)$ representa os efeitos dinâmicos e histerese que são obtidos passando pela trajetória de saída $u_d(t)$ através do modelo inverso em ordem inversa. (D. CROFT; et al., 2001)

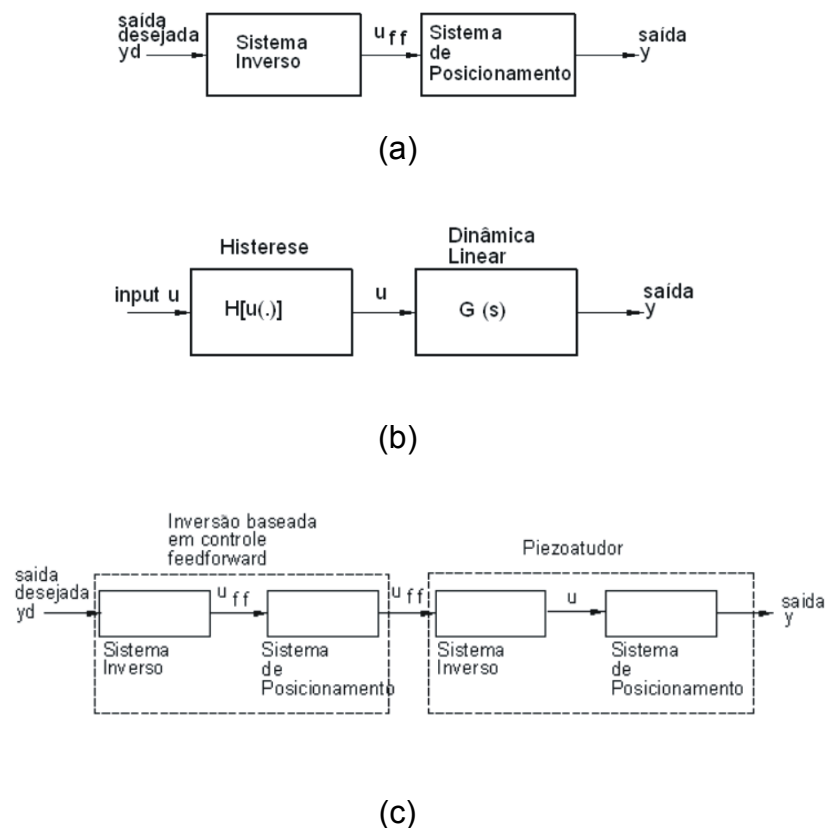


Fig. 21. Conceito de controle feedforward: (a) diagrama de blocos de controle feedforward, (b) modelo de estrutura em cascata para Histerese $H[u(.)]$ e dinâmicas vibracionais e efeitos de fluência $G(s)$ em piezo sistemas baseados em nano posicionamento e (c) abordagem baseada em inversão feedforward par compensar a dinâmica e efeitos da histerese.

Fonte: J. Abbott (2007)

O modelo *feedforward* tem sido utilizado para controlar o movimento de nano posicionadores piezelétricos baseados em microscopia de força atômica (AFM). A figura 22 (a) mostra imagens que comparam o antes e depois quando utilizado controle *feedforward*. O efeito histerese faz com que as características paralelas pareçam curvas. Ao modelar o comportamento da histerese, invertendo o modelo para controle *feedforward*, a imagem resultante AFM figura 22 (b) mostra a topologia verdadeira, onde o efeito de distorção é compensado pela entrada *feedforward*. Da mesma forma, durante a digitalização dos movimentos em alta velocidade vibrações estruturais induzidas causam distorção na forma de onda como mostrado na figura 22 (c). Estas distorções são minimizadas quando modelada a entrada para controle *feedforward*, (G.M. CLAYTON; S. DEVASIA, 2005).

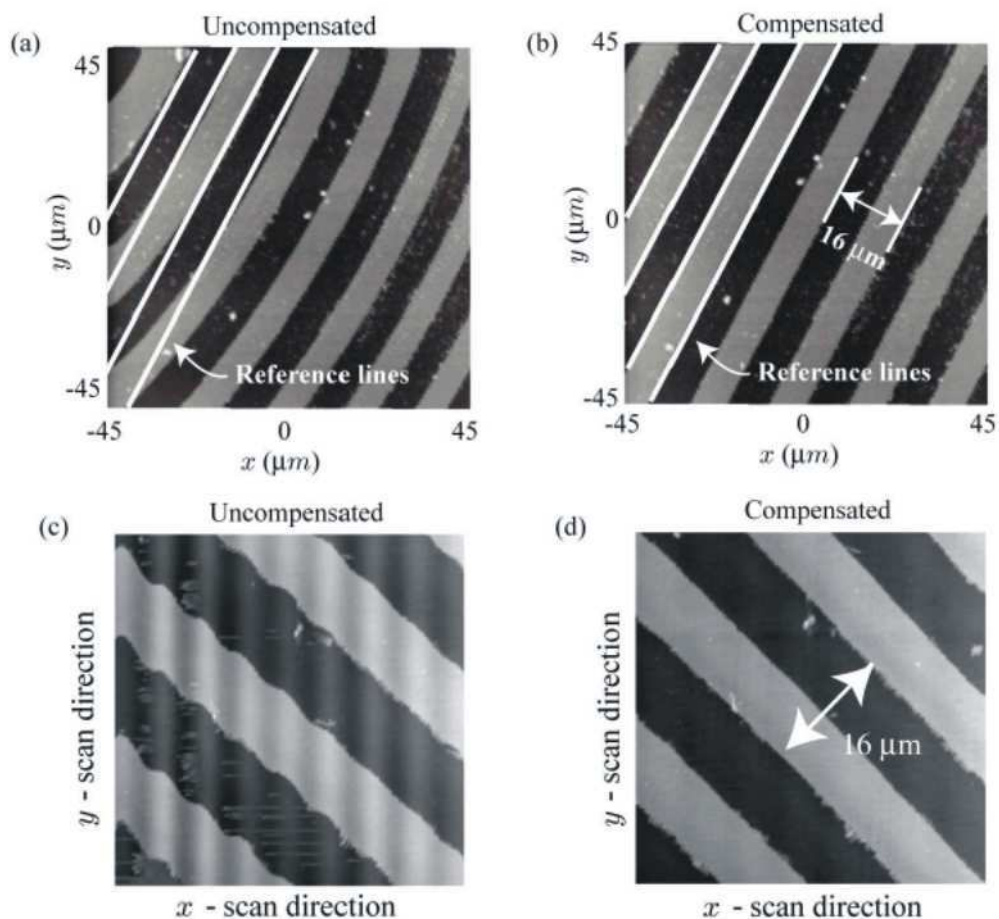


Fig. 22 Resultados de imagem de um AFM: (a) baixa velocidade sem compensação *feedforward*; (b) baixa velocidade, com compensação de histerese *feedforward*; (c) alta velocidade sem compensação *feedforward*; (d) alta velocidade com compensação dinâmica *feedforward*.

Fonte: K.K. Leang, (2009)

2.13 BENEFÍCIOS E RISCOS DA NANOTECNOLOGIA

A nanociência e a nanotecnologia são campos em desenvolvimento, com expectativas em múltiplos aspectos do mundo contemporâneo:

Como já mencionado a Nanotecnologia é sem dúvida a nova ciência que irá transformar a nossa visão relacionada à matéria.

[...] "De fato, novos materiais semicondutores, como grafeno, nanofios, nano tubos e pontos quânticos, devem ser capazes de substituir o silício no horizonte considerado, ao passo que novos materiais (novas idéias e funcionalidades) surgirão como materiais capazes de, em certos aspectos, replicarem a natureza". (ABDI..., Estudo prospectivo..., 2012).

[...] "as potencialidades da nanotecnologia são ao mesmo tempo entusiasmantes e amedrontadoras. Por um lado, o desenvolvimento de supercomputadores, de novos medicamentos, de novos materiais para uso na astronáutica, na reciclagem, num sem-número de indústrias inéditas. Por outro, a construção de armas apavorantes – diminutos invasores invisíveis, do tamanho de uma bactéria ou mesmo de um vírus, programados por alguma potência inimiga ou por um demente, poderiam penetrar numa dada região transportados por uma rajada de vento e transformar os ossos da população inteira numa pasta pegajosa". (OLIVEIRA, 2002).

"As circunstâncias do nano conhecimento das pessoas, neste momento, é de difícil mensuração, o que, aumenta a responsabilidade das instituições de ensino e da comunidade científica". Neste aspecto vamos lembrar o compromisso proposto por Chassot:

A nossa responsabilidade maior no ensinar Ciência é procurar que nossos alunos e alunas se transformem, com o ensino que fazemos em homens e mulheres mais críticos. "Sonhamos que, com nosso fazer Educação, os estudantes possam tornar-se agentes de transformação – para melhor – do mundo em que vivemos". (CHASSOT, 2006).

VALADARES, CHAVES e ALVES, não exprimem explicitamente a sua preocupação com relação a essa nova ciência como OLIVEIRA e CHASSOT:

"Estamos no limiar de uma verdadeira revolução tecnológica, cuja evolução deverá abranger décadas, com um impacto que provavelmente deverá superar o de todas as revoluções técnicas do passado. Dela resultarão materiais inéditos, grandes avanços na medicina e na farmacologia, métodos muito mais eficientes para a indústria química e petroquímica, computadores com um grau de sofisticação e complexidade sem precedentes – provavelmente baseados em outros princípios físicos –, maior eficiência no uso de energia, grandes inovações na área do meio ambiente e vários outros avanços que podemos apenas vislumbrar". (VALADARES; et. al., 2005).

3 CONCLUSÕES

Sensores Piezelétricos podem medir diretamente a tensão induzida por deformação. O auto sensoriamento limita a precisão da medição na detecção de força. Não linearidades como a histerese requerem um procedimento extra para medição. Utilizando-se Observadores de Lauberger para completar a medição de sinais não medidos diretamente.

Atuadores Piezelétricos são utilizados quase que exclusivamente em microscópios de sonda de varredura devido a sua alta velocidade, tamanho compacto e resolução extremamente elevada.

O sensoriamento Capacitivo é utilizado para medir pequenas forças e mudanças de posição. A calibração destes sensores e o cálculo das incertezas continuam sendo um dos problemas mais desafiadores da detecção de micro forças.

Por tratar-se de uma área promissora economicamente; crescentes investimentos a nível mundial são praticados por governos e por empresas privadas, em micro e nanotecnologia. Desde a criação em 1981 da microscopia de Força atômica e Tunelamento atômico o governo dos EUA é o que mais investe em micro e nanotecnologia. No ano 2000 o presidente Bill Clinton criou na Califórnia o *Institute of Technology da National Nanotechnology Initiative*, com investimentos iniciais de US\$ 495 milhões de dólares e continua até a presente data sendo o país que mais investe nesta área. O Brasil é o vigésimo quinto investidor no ranking mundial, com previsão de investir R\$110,00 milhões de reais nos próximos três anos de acordo com o anunciado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) em dezembro de 2012. Com estes investimentos do Brasil em Nanotecnologia, que, estudiosos e pesquisadores estão chamando de a nova ciência, cabe refletir quando se investe no Brasil R\$ 5,39 Bilhões em estádios de Futebol. Até quando nossos governantes vão acreditar que vive-se na Roma antiga; para a população basta pão e diversão?

A Micro e a Nanotecnologia são aplicadas cotidianamente no desenvolvimento de produtos na área Industrial e na área da Ciência. A Nanociência é uma área ainda incipiente. No entanto os trabalhos de pesquisa nesta área devem

merecer atenção especial por parte da sociedade científica, principalmente quanto aos riscos que estas pesquisas podem proporcionar ao ser humano, pois ainda são desconhecidos. Ao lado dos avanços científicos e tecnológicos é necessário que as questões relacionadas à ética e principalmente às bioéticas avancem paralelamente, para que se possam minimizar os futuros conflitos desta nova ciência denominada Nanotecnologia.

O objetivo deste trabalho de pesquisa foi informar alguns estudos que estão sendo elaborados e as descobertas mais recentes, sempre, focando os benefícios e prováveis riscos desta nova tecnologia. Por tratar-se de uma área ampla e de muitas possibilidades tecnológicas, econômicas e sociais, vale a pena à continuação deste trabalho, focando, por exemplo, o desenvolvimento de dispositivos micros e nanométricos utilizados na automação de micros robôs e de nanos robôs.

Como proposta de trabalhos futuros, cita-se a implementação prática de Nanoposicionadores, visando particularmente determinar o impacto das tecnologias aqui estudadas.

REFERÊNCIAS

ABDI – Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Cartilha sobre a Nanotecnologia**. Serie caderno da Indústria vol. XX, p. 19-20, 2011. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Cartilha%20nanotecnologia.pdf> >
Acesso em: junho de 2012.

ABDI – Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Estudo prospectivo Nanotecnologia**. Serie caderno da Indústria vol. XX, p. 92-93, 2011 Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Estudo%20Prospectivo%20de%20Nanotecnologia.pdf>>
Acesso em: junho 2012.

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Semana Nacional da Ciência e Tecnologia**. outubro de 2011.
Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Paginas/acao_resumo.aspx?i=94>
Acesso em: maio 2012.

A. Ivan, M.Rakotondrabe, P. Lutz and N. Chaillet, **Quasistatic displacement self-sensing method for cantilevered piezoelectric actuators**, Review of Scientific Instruments (RSI), Vol.80(6), 065102, June 2009.

A. J. Fleming and K. K. Leang. **Change drives for scanning probe microscope positioning stages**. Ultramicroscopy. VI. 108, np 12, p. 1551-1557. November 2008.

A. J. Fleming. **Nanopositioning system with force feedback for high performance tracking and vibration control**. IEEE Transactions on Mechatronics, Accepted. April 2009.

A.ROMAN, et al.. **Mapping Nanomechanical Properties of Live Cells Using Multi-harmonic Atomic Force Microscopy**. Publicado online na Nature Nanotechnology. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2011.186>. >
Acesso em: novembro de 2012.

A.Voda; G. Besançon. **Observer-basead estimation of weak forces in a nanosystem measurement device**. p. 223-239. 2011.

A.WEGNER, et. al. **Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.)**, Wily online library, article first published online: 18 SEP 2012. DOI: 10.1002/etc. (1984).
Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/337/6102/1640> >
Acesso: outubro 2012.

BANDARU, Prabhakar; et al.; **Novel electrical switching behaviour and logic in carbon nanotube Y- junctions**. Publicado pelaNature Materials, 4 (9), p. 663-666. Setember (2005).
Disponível em:
<http://www.jacobsschool.ucsd.edu/news/news_releases/release.sfe?id=413>
Acesso em: novembro 2012.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 4. ed., Ijuí: Unijuí, p. 31, 2006.

D. Croft, G. Shed, and S. Devasia. **Creep, hysteresis, and vibration compensation for piezoactuators: atomic force microscopy application**. ASME J. Dyn. Syst., Meas., and Control, vol. 123, pp. 35–43, 2001.

D. Leonard, M. Krishnamurthy, C.M. Reaves, S.P. Debars, and P.M. Petroff. **Direct formation of quantum-sized dots from uniform coherent islands of InGaAs on GaAs surfaces**. Applied Physics Letters, vol. 63, no 23, p. 3203-3205, 1993.

D. O. Popa, R. Murthy, and A.N. Das **M3 – Deterministic, Multiscale, Multirobot Platform for Microsystems Packaging: Design and Quasi-Precision Evaluation**. IEEE Transaction on Automation Science and Engineering, p.345-61, 2009.

ETC Group - Action Group on Erosion, Technology and Concentration. **The Big Down: From Genomes to Atoms**. p.05-16. 2003. (Apud Centro Universitário São Camilo). Disponível em:
<http://www.saocamilosp.br/pdf/bioethikos/54/Introducao_as_questoes.pdf>
Acesso em: junho 2012

EUROPE 2020 is the EU's growth strategy for the coming decade, **European Commission, 2011**. Disponível em: < http://ec.europa2020/index_en.htm >
Acesso em: junho 2012.

F. Beyeler, et al., **Design and calibration of a MEMS sensor for measuring the force and torque acting on a magnetic microrobot**, Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 18, Feb 2008.

G.Binnig and D.P.E. Smith. **Single-tube three-dimensional scanner for scanning tunneling microscopy**. Review of Scientific Instruments, vol, 57, no. 8, p. 1688-1689, August 1986.

G. M. Clayton and S. Devasia. **Image-based compensation of dynamic effects in scanning tunneling microscopes**. Nanotechnology, vol. 16, pp.809 – 818, 2005

G. Schitter and A. Stemmer. **Identification and open-loop tracking control of a piezoelectric tube scanner for high-speed scanning-probe microscopy**. IEEE Trans. Cont. Sys. Tech., vol. 12, no. 3, p. 449 –454, 2004.

I. Aoki, Takahashi and T. Higuchi. **Development of Microforming System Using Mold Technology and Cutting Technology**. SPIE, vol3511, p. 330-336, 1998.

ISO, **Guide to the expression of uncertainty in measurement**, Geneva, Switzerland, 1995.

Disponível em: <<http://webstore.iec.ch/preview/infoisoiecguide98-3%7Bed1.0%7Den.pdf>>

Acesso em: agosto 2012.

J. Abbott, Z. Nagy, F. Beyeler, and B. Nelson. **Robotics in the small, part i: Microbotics**. Robotics & Automation Magazine, IEEE, vol. 14, no 2, p. 92-103, 2007.

JACOB F. **O rato, a mosca e o homem**. São Paulo: Companhia das Letras; p.100, 1998.

K. K. Leang, Q. Zou, and S. Devasia. **Feedforward control of piezoactuators in atomic force microscope systems: inversion-based compensation for dynamics and hysteresis**. IEEE Cont. Syst. Mag. vol. 29, no. 1, p. 70 – 82, 2009.

LEQS News. Laboratório de Química do Estado Sólido da Unicamp. **Criada nova fibra mais forte que o Kevlar**.

Disponível em: <lges.iqm.unicamp.br/canal.../lges_news_novidades_1478.html>

Acesso em: novembro 2012.

MAIL ONLINE Science & Tech. **Conheça os nano-aranhas: os robôs de DNA que poderão um dia andar através corpo**.

Disponível em: <<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1278133/Meet-nano-spiders-The-DNA-robots-day-walking-body.html#ixzz2Ch5KAucv>>

Acesso em: novembro 2012.

M. Gauthier, S. Regnier, P. Rougeot and N. Chaillet S. **Forces analysis for micromanipulations in dry and liquid media**. S, J.Micromechatronics, 3, pp. 389". U413, 2006.

M. Goldfarb and N. Celanovic. **A flexure-based gripper for small-scale manipulation, Robotics**, 17, 1999.

M. Motamed and J. Yan, **A review of biological, biomimetic and miniature force sensing for microflight, IEEE IROS**, 2005.

NARAGUI, Mohammad; et al. **A Multiscale Study of High Performance Double-Walled Nanotube–Polymer Fibers 2010**, 4 (11), pp 6463–6476 DOI:

10.1021/nn101404u. Publication Date (Web): October 26, 2010. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1021/nn101404u>> Acesso em: outubro de 2012.

OLIVEIRA, L. A. **Valores deslizantes**: esboço de um ensaio sobre técnica e poder. In: NOVAES, A. (Org.). O avesso da liberdade. São Paulo: Companhia das Letras, p. 211, 2002.

QUINA F. H. (Apud BATISTA, R. et. al, p.4, 2010) **Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos**. Química Nova, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 1028-1029, 2004.

RAKOTONDRABE, M.; CLEVY, C.; IVAN, A. I.; CHAILLET, N. **Observer techniques applied to the control of piezoelectric microactuators. Signals**

Measurement and Estimation Techniques Issues in the Micro/Niño-Word. IEEE. International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, Alaska USA, 2010.

RATNER, M. and RATNER D.. **Nanotecnologia, Prentice Hall, Upper Saddle River.** New Jersey, 2003.

REVISTA NEW SCIENTIST; JOURNAL OF THE AMERICAM. **Nanofoguetes poderão transportar remédios no seu corpo,** 2012.

Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/13966-nanofoguetes-poderao-transportar-remedios-no-seu-corpo.htm#ixzz2CVHydWFk>>

Acesso em: outubro 2012.

REVISTA NEW SCIENTIST. **Robôs-aranha podem ser injetados no corpo humano para curar vasos sanguíneos.** 2012.

Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/medicina/13203-robos-aranha-podem-ser-injetados-no-corpo-humano-para-curar-vasos-sanguineos.htm#ixzz2CVJLR5TA>>

Acesso em: outubro, 2012.

ManuFuture's. **Manufacturing 2030 in Europe.** Publication, p.10, July 2011.

Disponível em:

<http://www.globalsmtbrasil.net/index.php?option=com_content&view=article&id=749&Itemid=53>

Acesso em: maio 2012.

SAKAMOTO, João M. S. **Sensor de fibra Óptica aplicado a caracterização de atuadores Piezoelétricos Flexionais.** Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Faculdade Estadual Paulista UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de (Mestre em Engenharia Elétrica), 2006.

Disponível em: <<http://www.dee.feis.unesp.br/pos/teses/arquivos/165dissertacao>>

Acesso em: setembro de 2012.

S.O.R. Moheimani. **Accurate and fast nonpositioning with piezoelectric tube scanners: Emerging trends and future challenges.** Review of Scientific Instruments, vol 79, no, 7, p. 071-101 (1-11), July 2008.

S. Devasia, E. Eleftheriou, and S.O.R. Moheimani. **A survey of control issues in nanopositioning.** IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 15. No. 5, p. 802-823, September 2007.

SUK-WO, Hwang; et. al. **A physically transient form of silicon electronics.** O trabalho que deu origem a esta notícia, foi publicado na revista Science, volume 337, número 6102, p. 1640-1644, DOI: 10.1126/science. 1226325. (2012).

The raw materials initiative. **Meeting our critical needs for growth and jobs in Europe, European Commission.** 2008

Disponível em:

<<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:en:Pdf>>

Acesso em: maio 2012.

VALADARES, E. C.; CHAVES, A.; ALVES, E. G. **Aplicações da física quântica: do transistor à nanotecnologia**. São Paulo: Livraria da Física, p. 51-52, 2005

Y. Sun, B. J. Nelson, D. Potasek and E. Enikov. **A bulk microfabricated multi-axis capacitive cellular force sensor using transverse comb drive**. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2002.

Y. Haddab. **Conception et réalisation d'un système de micromanipulation contrôlé en effort et en position pour la manipulation d'objets de taille micrométrique**. PhD dissertation (in French), University of Franche-Comté, Laboratoire d'Automatique de Besançon, 2000.

Y. Haddab, Q. Chen and P. Lutz. **Improvement of strain gauges micro-forces measurement using Kalman optimal filtering**. IFAC Mechatronics, 19(4), 2009.