

Posicionamento do Brasil em Relação à Nanotecnologia Aplicada ao Setor Aeroespacial

Carlos Fernando Rondina MATEUS
JOSÉ AUGUSTO Ferreira Pereira
DELANY Lopes dos Santos



1 - Introdução

Nanotecnologia refere-se às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menor que, ou da ordem de algumas dezenas de nanômetros (milionésimos de milímetro). A área da nanotecnologia é mundialmente reconhecida como uma das chaves do século XXI. Produtos e processos nanotecnológicos, pelo enorme potencial de

impacto científico, tecnológico e econômico, merecem especial atenção dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. A produção de engenhos cada vez menores, mais rápidos e mais eficientes, com relação preço-desempenho aceitável, tem se tornado, para muitos setores industriais, um fator preponderante de sucesso na competição internacional. A competência tecnológica em nanotecnologia será uma condição necessária

ao sucesso competitivo em mercados futuros de alta tecnologia.

Devido à escala nanométrica dos dispositivos, e justamente por esse motivo, estes apresentam características que não guardam proporção com os seus análogos do mundo relativamente macro ou microscópico. Isto quer dizer, por exemplo, que as características de um transistor não se alteram de forma linear quando suas dimensões são linearmente reduzidas da escala microscópica para a nanoscópica. Outros diferenciais básicos são a relativa grande razão entre área e volume (a maioria dos átomos estão próximos à superfície) e o domínio da física quântica sobre a física clássica para a explicação dos fenômenos. No entanto, pela consagração do uso, este trabalho tratará, também, das microtecnologias, como os conhecidos sistemas micro-eleto-mecânicos (Micro-Electro-Mechanical Systems - MEMS), os quais podem ter as técnicas de fabricação evoluídas e se torna NEMS (Nano-EMS).

Na escala nanométrica, o desenvolvimento de novos componentes possibilitará reunir dispositivos de dimensões tão pequenas que aumentarão a compactação e a capacidade para o processamento de informações, visando à economia de espaço e de energia. Os nanossistemas criados causarão grande impacto em áreas como as de química, biologia, física, metrologia, ciência dos materiais e, é claro, de defesa e aeroespacial. De fato, estas duas últimas são as áreas que mais têm interesse em salvar espaço, peso e economizar energia.

Entre as aplicações em defesa da nanotecnologia, os exemplos são vários, desde a possibilidade de interfaces homem/máquina altamente sofisticadas, até novos materiais inteligentes com a capacidade auto-regenerativa e de conexão em rede, para o uniforme e proteção pessoal de soldados no campo de batalha. Os mesmos produtos têm

evidentes aplicações civis, por exemplo, no monitoramento remoto de pacientes crônicos ou no apoio em áreas longínquas. Por outro lado, com o aumento das ameaças terroristas crescem, também, as "contramedidas" tecnológicas cada vez mais avançadas, que poderão se incorporar ao arsenal dos estados "dominantes" e virem a ser empregadas contra países que venham a se encaixar no "eixo do mal". O espectro do desenvolvimento de novas armas de destruição em massa, de controle de multidões ou de imobilização individual, está sempre presente quando se trata de novas tecnologias tão poderosas. De acordo com (Silva, 2004):

"Os interesses dos países "fortes" sempre se sobrepuseram, e tudo indica que a história se perpetue neste século. É preciso, portanto, prestar atenção nesses desenvolvimentos (nanotecnológicos), na medida em que possam impactar a capacidade de defesa, já bastante reduzida, de países em desenvolvimento como o Brasil."

Felizmente, o Brasil encontra-se bem posicionado para entrar no mundo nanotecnológico, apesar de ter figurado como espectador na revolução da microeletrônica. Possui um exército de pesquisadores bem treinados, trabalhando no Brasil e no exterior, que participa do desenvolvimento do estado da arte nanotecnológica. Os laboratórios, universitários e de centros de pesquisa, são muito bem equipados e capazes de sedimentarem o desenvolvimento sustentado da área. O mesmo não pode ser afirmado a respeito da indústria nacional, que tradicionalmente não investe em pesquisa e desenvolvimento e pode enfrentar dificuldades na absorção dos novos conceitos.

A indústria aeroespacial não é diferente, e a maior parte do que hoje projeta a tecnologia nacional teve suas raízes nos laboratórios da Força Aérea Brasileira (FAB), especificamente no Centro Técnico Aeroespacial. A nanotecnologia possui um caráter diferenciado para aplicações aeroespaciais. O alto custo de desenvolvimento caracterizam



o setor mais como "seguidor" do que como "liderança".

A realização baseia-se em três marcos teóricos. O primeiro foi uma monografia intitulada "Nanotecnologia - uma iniciativa recomendada para a Aeronáutica", de autoria do Ten Cel Eng André César da Silva e publicada em 2002 (DASILVA, 2002), em que o autor defendeu que a Aeronáutica prestasse mais atenção a esta área, interna e externamente. Dois outros trabalhos que muito influenciaram, autores, ambos publicados em 2003, foram os extensos levantamentos realizados pelo German Aerospace Center e pela United States Air Force - USAF, representantes dos dois países mais avançados em nanotecnologia e que mais investem na área: Alemanha e Estados Unidos, respectivamente. No primeiro destes estudos, "Applications of Nanotechnology in Space Developments and Systems", a proposta foi identificar e avaliar as diferentes aplicações de produtos e procedimentos nanotecnológicos nos desenvolvimentos de tecnologia espacial na Alemanha (ALEMANHA, 2003). O segundo foi conduzido por mais de dois anos e publicado pela National Academy of Sciences - EUA, de acordo com encomenda realizada pela USAF, intitulado "Implications of Emerging Micro- and Nanotechnologies" (EUA, 2003), que buscou:

- a) caracterizar o estado da arte em micro e nanotecnologias; e
- b) revisar a adequabilidade das estratégias de investimento militar em micro e nano tecnologias; e
- c) recomendar áreas de pesquisa para acelerar as oportunidades de exploração destas tecnologias na missão operacional e sistemas da Força Aérea.

Os trabalhos acima demonstraram não apenas a importância que as nanotecnologias representam para o Brasil e para a Força Aérea, como também o atraso em nossa

abordagem. Dessa forma, é de grande interesse para os setores de defesa e aeroespacial que se responda: quais as principais tendências mundiais da nanotecnologia aplicada ao setor aeroespacial e como o Brasil se posiciona em relação a estas tecnologias?

As questões a serem resolvidas ainda são inúmeras. O objetivo deste trabalho é obter uma solução exploratória à pergunta acima formulada, de forma a orientar a adequabilidade das estratégias de investimento militar em micro e nanotecnologias. Um objetivo secundário é prover subsídios sobre as áreas de pesquisa que possam acelerar as oportunidades de exploração dessas tecnologias tanto no cumprimento da missão constitucional da Força Aérea como no fomento da indústria aeroespacial brasileira.

2 - Processo Metodológico

Em vista do enorme potencial para inovação da nanotecnologia e do enorme aumento de financiamento ao redor do mundo, a estratégia de obtenção do posicionamento exploratório desejado se inicia com o levantamento de quais atividades podem ser identificadas na comunidade aeroespacial. A base para esta identificação foi a utilização de ferramentas de busca por palavras-chave na literatura e em patentes, no período 1990-2005, de acordo com o modelo já utilizado na obra acima referida em (ALEMANHA, 2003).

Por outro lado, de forma a levantar e posicionar a situação brasileira, a mesma busca foi realizada nos sítios do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), identificando as redes de nanotecnologia e outras atividades na área que possam ser direcionadas para o setor aeroespacial.

2.1 - Análise da Literatura

Neste primeiro passo foi procedida a busca em bancos de dados para determinar



a pesquisa em nanotecnologia na literatura científica. A estratégia desenvolvida constou da seleção de duas bases de dados: Web of Science e Aerospace & High Technology Database ambos acessíveis através do portal de periódicos da CAPES (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>). A primeira base de dados reúne publicações de diferentes periódicos das áreas médica, científica, engenharia e ciências sociais, cobrindo grande parte do campo multidisciplinar da nanotecnologia. Essa base selecionada permite inclusive, que sejam encontrados artigos que comentem estratégias empresariais para o desenvolvimento de nanotecnologias ou discutam seu impacto social. No entanto, o alcance específico de engenharia, particularmente a aeroespacial, é relativamente limitado. Então, como informação complementar, foi utilizado, também, o banco de dados Aerospace & High Technology Database, provido pela CSA Illumina e que contém informação bibliográfica de pesquisa básica e aplicada em aeronáutica, astronáutica e sistemas espaciais. Campos complementares como química, geociências, física, comunicações e eletrônica também são disponíveis.

As palavras-chave foram escolhidas de Nano*" (onde o asterisco serve como um exemplo: nanoparticle, nanotube, nanowire, entre o uso de hífen (por exemplo, nanoparticle ou nanoparticle). Outros termos ainda foram adicionados, uma vez que a área é bastante grande, de forma a incluir pesquisas em materiais, métodos de fabricação, eletrônica e optoeletrônica (vide Tabela 1). No entanto, alguns dos

termos com o prefixo "nano" foram excluídos, os quais são frequentemente utilizados em publicações científicas sem uma conexão direta com nanotecnologia, por exemplo: nanograma, nano-segundo, etc. Outros termos, como nano-satélite ou nanorobô, não são representantes diretos da nanotecnologia, mas apenas representam dispositivos muito pequenos (massa ~ 1kg para o primeiro e volume ~ 1cm³ para o segundo). Porém estes últimos termos foram também pesquisados, em separado, por pressupor a utilização de micro ou nanotecnologia em alguma parte do sistema.

A área aeroespacial foi delimitada por termos gerais como aircraft, spacecraft, flight, satellite, spaceflight, UAV (unmanned air vehicle), uma vez que o campo é muito vasto e também multidisciplinar.

As palavras-chave utilizadas para termos nanotecnológicos relacionados com termos aeroespaciais nos bancos de dados selecionados são mostrados na Tabela 1. Baseado nestes resultados, foi realizada uma busca final para a análise de publicações (vide Tabela 2). A evolução do número de publicações

Palavra-chave	Web of Science	Aerospace & High Technology
Quantum well*	121	93
Quantum dot*	22	13
VCSEL*	4	12
HEMT*	38	50
Nanotube*	44	55
Nanoparticle*	88	28
Nanocapsul*	0	0
Nanostruct*	71	51
Nanotech*	17	208
Nanocrystal*	103	20
Nanoscal*	51	19
Fulleren*	324	45
Single electron*	50	15
Magnetoresist*	72	14
SWCNT*	1	0
Self assemb*	195	36
Monolayer*	487	49
Photonic Crys*	8	0
Spintronics	0	0

Tabela 1 - Número de ocorrências para termos nanotecnológicos relacionados com termos aeroespaciais (spacecraft* or satellite* or spaceflight* or space system* or flight* or UAV*) nos bancos de dados utilizados para a análise de literatura e patentes.



Palavras-chave	Banco de dados	Ocorrências
(Quantum well* OR Quantum dot* OR VCSEL* OR HEMT* OR Nano* OR Fulleren* OR Single electron* OR Magnetoresist* OR SWCNT* OR Self assemb* OR Monolayer* OR Photonic Crys*) NOT (nanonanometer* OR nanogra* OR nanosatel* OR nanosec* OR nano-sec*)	Web of Science	97554
	Aerospace & High Technology	21414
(Quantum well* OR Quantum dot* OR VCSEL* OR HEMT* OR Nano* OR Fulleren* OR Single electron* OR Magnetoresist* OR SWCNT* OR Self assemb* OR Monolayer* OR Photonic Crys*) NOT (nanonanometer* OR nanogra* OR nanosatel* OR nanosec* OR nano-sec*)	Web of Science	2202
	Aerospace & High Technology	985
AND (spacecraft* or satellite* or spaceflight* or space system* or flight* or UAV*) Nanosatellit* OR nano-satellit*	Web of Science	44
	Aerospace & High Technology	60

Tabela 2 - Número de ocorrências para termos nanotecnológicos em comparação para quando são associados aos termos

em nanotecnologia aeroespacial, no período 1990-2005, pode ser vista na página seguinte: (Figura 1).

Interessante notar que, embora quantum wells (poços quânticos) e quantum dots (pontos quânticos) estejam presentes em grande número de trabalhos, VCSEL - Vertical Cavity Surface Emitting Laser (que inevitavelmente utiliza uma destas duas técnicas de confinamento) ainda não estão estabelecidos, como a fonte óptica de escolha, mesmo com a comprovada eficiência de uso no mercado de telecomunicações. HEMTs - High Electronic Mobility Transistors com certeza terá o uso incrementado, sendo limitado pelas técnicas de fabricação desvantajosas do GaAs em relação ao Si. As palavras com prefixo nano* mostram o quão seminal é a aplicação das tecnologias no setor aeroespacial. Em especial, as 208 ocorrências de Nanotech* no Aerospace & High Technology Journal, número este muito maior do que qualquer outra das ocorrências, mostram que as aplicações tendem a ser ainda visionárias (mais presas ao conceito nanotecnológico) e não práticas.

A Tabela 2 mostra que os termos nanotecnológicos relacionados à aplicações aeroespaciais consistem de uma pequena parcela entre o número total de publicações. Na área especializada, Aerospace & High Technology Journal, atinge cerca de 4.6% do total, mas na área mais ampla Web of Science fica em apenas 2.2%. A tecnologia de nano-satélite ainda é extremamente embrionária, porém indica o potencial de utilização de nanotecnologias, conforme observado anteriormente, e

pequeno número de ocorrências foi observado em ambos os bancos de dados.

O número de publicações anuais em nanotecnologia aeroespacial, no período 1990-2005, de acordo com a Figura 1, mostra que o ponto de inflexão, do crescimento linear para o exponencial, ainda está para ocorrer, em particular as publicações anuais no Aerospace & High Technology Journal. Esse ponto de inflexão diferencia tecnologias seminais (crescimento anual linear) de maduras (crescimento anual exponencial). O aumento linear das publicações demonstra que a comunidade científica está atenta e trabalhando numa tecnologia com potencial provado. No entanto, o crescimento exponencial demonstra a entrada definitiva do setor industrial, realização de congressos específicos e grande proliferação acadêmica, o que nitidamente está para acontecer. O gráfico ainda demonstra que o tópico nanotecnologia em contexto com o setor aeroespacial é tomado em contexto científico mais amplo do que no específico, dado o maior número de publicações bem como a taxa de crescimento no Web of Science. Uma



explicação para este último fato é que a principal direção da nanotecnologia é a multidisciplinaridade de pesquisa entre biologia, química e física, sendo ainda visionária para aplicações aeroespaciais.

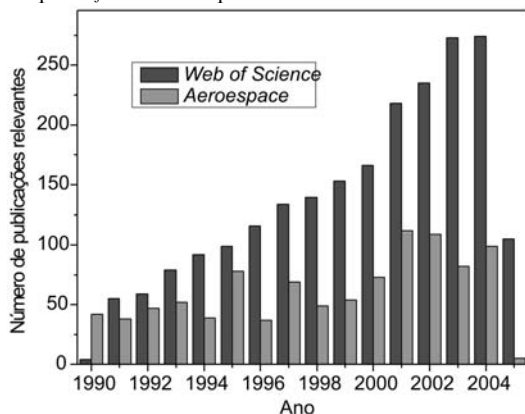


Figura 1 - Publicações por ano da área nanotecnológica relacionada ao setor aeroespacial

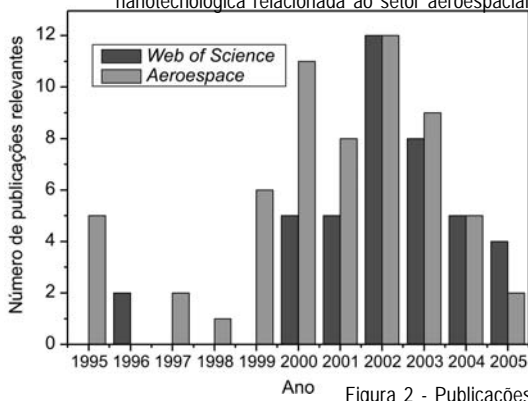


Figura 2 - Publicações relevantes por ano relativas a nanosatélites

2.2 - Análise de Patentes

A análise de patentes também é extremamente relevante ao propósito deste estudo. Patentes mostram os primeiros indicativos do estado da arte causando inovações, de mercados nascentes e de mudanças na competição. Nesse contexto, destaca-se ainda a evolução temporal das patentes, de onde as indicações iniciais de inovações e mudanças de mercado podem ser derivadas. No entanto, deve-se considerar que o processo de patenteamento pode levar em torno de cinco anos, dependendo de vários fatores, difíceis de serem interpretados.

A análise foi procedida por meio do sistema Derwent Innovations Index, que acessa os principais bancos de dados de patentes de todo o mundo, englobando um total de 40 países, inclusive o United States Patent Office - USPTO, European Patent Office e o organismo mundial de patentes World International Patent Office - WIPO.

Para analisar as patentes de acordo com o critério de nanotecnologia aeroespacial, as seguintes estratégias foram utilizadas:

a) procura por aplicações nanotecnológicas dentro da IPC (International Patent Classification) B64 (Aircraft, Aviation, Cosmonautics);

b) procura por aplicações aeroespaciais dentro da IPC (International Patent Classification) B81 (Micro-Structural Technology) e B82 (Nanotechnology); e

c) procura por termos no contexto nanotecnologia aeroespacial em todas as classes de patentes (vide Tabela 3).

IP=(B64) AND TS=((Quantum well* OR Quantum dot* OR VCSEL* OR HEMT* OR Nano* OR Fullerene* OR Single electron* OR Magnetoresist* OR SWCNT* OR Self assemb* OR Monolayer* OR Photonic Crys*) NOT (nanometer* OR nanogra* OR nanosatel* OR nanosec* OR nano-sec*))	24
IP=(B81 or B82) AND TS=(spacecraft* or satellite* or spaceflight* or space system* or flight* or UAV* or unmanned air vehicle)	25
TS=((Quantum well* OR Quantum dot* OR VCSEL* OR HEMT* OR Nano* OR Fullerene* OR Single electron* OR Magnetoresist* OR SWCNT* OR Self assemb* OR Monolayer* OR Photonic Crys*) AND (spacecraft* or satellite* or spaceflight* or space system* or flight* or UAV*) NOT (nanometer* OR nanogra* OR nanosatel* OR nanosec* OR nano-sec*)) NOT IP=(B41J)	226
TS=(nanosatel* or nano-satel*)	13

Tabela 3 - Resultado de busca por patentes de nanotecnologia aeroespacial

Os mesmos termos utilizados anteriormente na análise de literatura foram utilizados para a análise de patentes. Para a procura sem restrições de classe, o grupo B41J (Typewriters; Selective Printing mechanisms, etc.) foi excluído devido a multiplicidade de retornos do vocábulo "satellite drop", o qual se refere a um problema tecnológico de



impressoras a jato de tinta e portanto sem relevância para aplicações aeroespaciais. A estratégia de busca e os resultados estão sumarizados na Tabela 3, e os seguintes resultados podem ser observados:

a) praticamente não há patentes relacionadas à nanotecnologia na classe B64 (Aircraft, Aviation, Cosmonautics);

b) praticamente não há patentes relacionadas ao setor aeroespacial nas classes B81 (Micro-Structural Technology) e B82 (Nanotechnology); e

c) no restante, foi encontrado um substancial número de patentes relacionadas aos aspectos tecnológicos e aeroespaciais.

Embora um número significativo de patentes tenha sido identificado, uma conclusão segura sobre a relação entre as áreas em questão apenas pode ser deduzida após análise mais criteriosa dos termos das patentes. Apenas o estudo dos textos completos poderia, com certeza, revelar quais os documentos que realmente conectam os assuntos. Isto se deve claramente ao fato de que as patentes não se encaixam nos IPCs desejados.

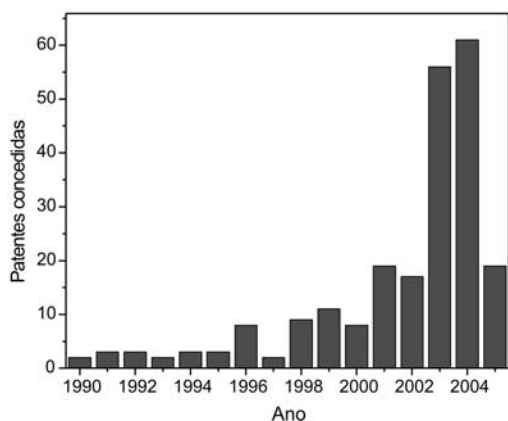


Figura 3 - Patentes por ano relacionadas às áreas nanotecnológica e aeroespacial

A evolução temporal das patentes no contexto de espaço e tecnologia, conforme Figura 3, mostra um grande incremento nos dois últimos anos. Isto indica que inovações

tecnológicas em alguns campos da nanotecnologia podem ter implicações futuras no setor aeroespacial. Para maiores esclarecimentos, as patentes poderiam ter suas classes quebradas em grupos e serem reclassificadas de acordo com o campo tecnológico específico. Este último seria então relacionado ao setor aeroespacial. Porém, tal análise ainda demandaria a leitura dos textos completos, o que foge ao objetivo exploratório deste trabalho.

2.3 A - NASA Como "BENCHMARK"

A NASA (National Air and Space Agency) é a líder mundial em pesquisas em nanotecnologia aeroespacial. A agência encontra-se muito bem estruturada e as necessidades são definidas com horizontes de 25 anos. A tecnologia ainda não existe, mas a necessidade sim. Ou seja, ninguém sabe como algo será feito, mas houve a decisão de que um fato acontecerá de alguma forma. Esta decisão é extremamente importante, pois acena direções com as quais as pesquisas devem se alinhar para produzir resultados e viabilizar a aplicação visionária.

Esta seção visa, apenas, a ilustrar o nível de planejamento hoje existente na NASA. As informações foram obtidas pela internet, a partir do sítio do Centro de Pesquisas Ames. Os temas nanotecnológicos com ênfase são: capacidade de processamento; miniaturização de sistemas; novos materiais; e funcionalidade e autonomia aumentadas. A Figura 4 mostra a visão tecnológica do papel da nanotecnologia na missão da NASA. A área deve se inter relacionar com Biotecnologia e Tecnologia da Informação de forma a promover uma "Zona de Convergência" para o desenvolvimento de estruturas e sistemas inteligentes, adaptativos e evolutivos. A Figura 5 mostra o Roadmap de nanotecnologia da NASA, o qual foi inicialmente produzido em 2001 e vem sofrendo atualizações de acordo



com a evolução das tecnologias. Os desafios a serem transplantados nas áreas aeronáutica e espacial são mostrados nas Figura 6 e 7, respectivamente.

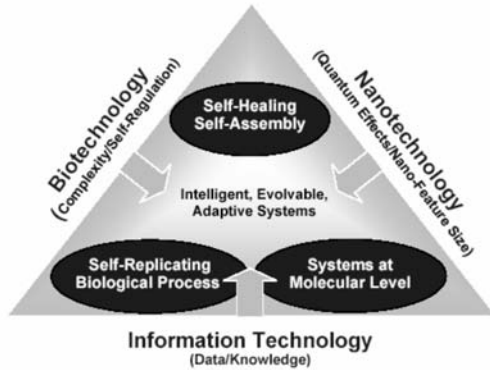


Figura 4 - Visão tecnológica do papel da nanotecnologia na missão da NASA

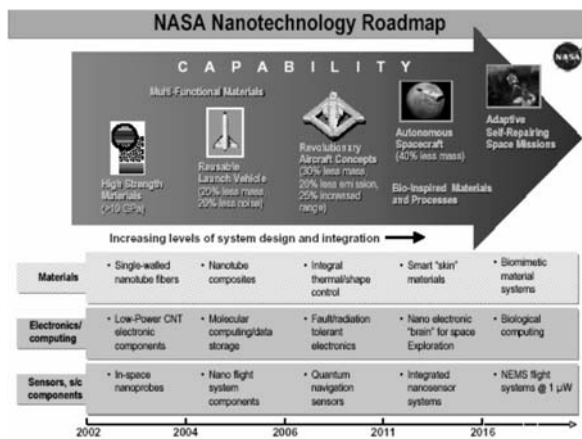


Figura 5 - Roadmap de nanotecnologia da NASA. Fonte: http://ipt.arc.nasa.gov/Graphics/nanotech_nasamissions.pdf de 14/06/2001, acessado em 19/05/2005

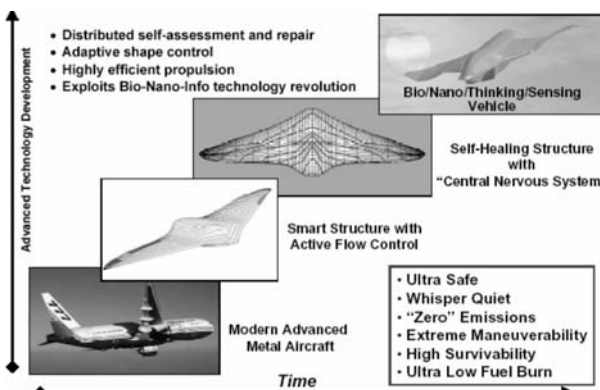


Figura 6 - NASA: Desafios na área aeronáutica. Fonte: http://fellowships.hq.nasa.gov/apio/capabilities/Nano_Public_Meeting_briefing.pdf de 30/11/2004, acessado em 19/05/2005.

2.4 - Situação no BRASIL

A produção científica em nanotecnologia no Brasil é bastante significativa, destacando-se a manipulação de nano-objetos, nanoeletrônica, nanomagnetismo, nanoquímica e nanobiotecnologia, inclusive os nanofármacos, a nanocatálise e as estruturas nanopoliméricas. Também há uma produção tecnológica representada por patentes e há projetos sendo executados por empresas, isoladamente ou em cooperação com universidades ou institutos de pesquisa (BRASIL, 2004).

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) lançou em 2003 o Programa Nacional em Nanotecnologia. Como parte deste programa, as seguintes ações se encontram em implementação, em maior ou menor grau:

- projeto de implantação de laboratórios e redes de nanotecnologia;
- apoio às redes e laboratórios de nanotecnologia;
- pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia;
- gestão do programa; e
- implantação de um programa especial de formação de recursos humanos.

Dessas ações, o Instituto do Milênio e as redes de nanotecnologia são de maior interesse para este estudo por refletirem a perspectiva atual e futura para o setor

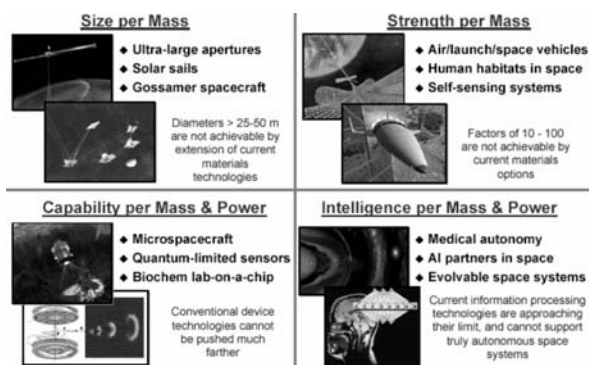


Figura 7 - NASA: Desafios na área espacial. Fonte: http://fellowships.hq.nasa.gov/apio/capabilities/Nano_Public_Meeting_briefing.pdf de 30/11/2004, acessado em 19/05/2005.



aeroespacial. Esse tipo de organização busca mitigar um dos grandes desafios da pesquisa na área: conseguir integrar esforços para otimizar os estudos, pois geralmente os equipamentos necessários são extremamente caros, e são necessários pesquisadores altamente especializados em certas áreas do saber. Seguindo a tendência mundial, as pesquisas nessa área requerem uma articulação centralizada, que consiga mobilizar os pesquisadores das universidades e centros de pesquisa, os empresários e as fontes financiadoras, principalmente governamentais. Esse tipo de ação já foi implementada nos Estados Unidos da América, na Europa e em outros países, e novos resultados têm aparecido diariamente como fruto desse esforço¹.

O programa de nanotecnologia prevê a estruturação de 6 redes. No momento, quatro já estão em operação: Nanobiotecnologia; Materiais Nanoestruturados e Filmes finos; Nanodispositivos e Materiais Semicondutores; e Nanotecnologia Molecular e Interfaces. Além da criação das duas novas redes (Rede de Nanoanálise e Diagnóstico; Nanometrologia e Instrumentação), faz-se necessário o fortalecimento das 4 redes existentes. O valor necessário à operação das redes foi estimado com base no valor do edital de formação das redes, lançado pelo CNPq. Os recursos previstos no edital do CNPq variaram de R\$500.000 a R\$800.000 por rede (para dois anos de duração do projeto). No entanto, este valor foi considerado muito baixo. Por isso, foi estipulado um valor adicional de R\$500.000 por ano, para o fortalecimento de cada uma das redes em funcionamento.

Esses recursos podem ser considerados bastante tímidos e limitados, tendo em vista o número de pesquisadores envolvidos em cada uma das redes, os custos dos equipamentos necessários para as pesquisas na área e os valores investidos por outros países como EUA, Japão e Comunidade Européia,

todos acima de US\$ 800 milhões por ano. Por exemplo, somente a Rede de Materiais Nanoestruturados conta com mais de cem pesquisadores doutores com grupos consolidados em diversas universidades brasileiras. Se o dinheiro fosse dividido igualmente para cada participante, bastaria apenas para comprar um computador por pesquisador! Ou seja, os recursos financeiros das redes não foram destinados para a compra de grandes equipamentos, mas de um modo geral esses recursos serviram para realizar alguns consertos de emergência, para comprar pequenos equipamentos, para permitir o intercâmbio de pesquisadores e estudantes e, principalmente, para a realização de reuniões, congressos e oficinas de trabalho que têm servido para integrar, de uma maneira mais efetiva, os pesquisadores dessas redes, e estimular colaborações e projetos comuns para as diversas áreas para o futuro. Apesar dos recursos extremamente limitados, que acabaram pulverizados pelo grande número de grupos de pesquisa envolvidos, é importante ressaltar que as redes têm conseguido resultados impressionantes. Foram realizados avanços significativos em diversas áreas do conhecimento, e foram estimulados encontros importantes em que a discussão sobre o tema avançou enormemente (Knobel, 2004).

Especificamente em 2002, os pesquisadores integrados às quatro redes de nanotecnologia existentes no País produziram aproximadamente 1100 publicações em periódicos internacionais, depositaram 17 patentes e realizaram mais de 200 apresentações em eventos internacionais².

Recentemente, foi instituída a Rede BrasilNano, como um dos elementos do Programa Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia, no âmbito da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, englobando todas as outras redes em sua estrutura organizacional³.

1- Conforme informações disponíveis em www.nano.gov, para os EUA, e www.esf.org, para a Europa.

2- Estes dados estão disponíveis para consulta no sítio do Ministério da Ciência e Tecnologia (www.mct.gov.br) e foram compilados pelos autores.

3- Portaria MCT nº 641, de 1º.12.2004.



A seguir apresenta-se um levantamento feito sobre o Instituto do Milênio e as 4 redes de nanotecnologia. Observa-se que o número de pesquisadores envolvidos e a diversidade das áreas de pesquisa são impressionantes, demonstrando que o Brasil possui extenso material humano disponível. No entanto, novas e diversificadas linhas de financiamento são necessárias para manter este "exército" ocupado e atualizado.

INSTITUIÇÕES ENVOLVIDAS	PESSOAL ENVOLVIDO
Unicamp-Umc	5 PhD, 2 MSc e 5 estud.
Unicamp	3 PhD, 3 MSc e 2 estud.
Unicamp-USP-Ribeirão Preto (Medicina)	6 PhD, 7 MSc e 5 estud.
USP-Ribeirão Preto (Farmácia)	5 PhD, 3 MSc e 2 estud.
USP-Ribeirão Preto (Medicina)	8 PhD, 6 MSc e 3 estud.
Univ. São Francisco	1 PhD.
IB-UnB	4 PhD e 19 estud.
IF-UnB	5 PhD, 1 MSc e 18 estud.
IF-UFG	1 MSc e 2 estud.
IQ-UFG	2 PhD e 2 estud.
FFCLRP/USP	2 PhD e 4 estud.
FF/UFU	1 PhD 3 estud.
IF/UFRJ	2 PhD 4 estud.
FF/UFSC	2 PhD, 4 MSc e 4 estud.
FQ/UFSC	3 PhD E 1 MSc.
IB/UFRJ	5 PhD, 3 MSc e 1 estud.
UEPG	3 PhD, 2 MSc e 2 estud.
UFRGS	4 MSc e 4 estud.
ICB/UFMG	7 PhD, 5 MSc e 4 estud.
FF/UFMG	2 PhD e 6 estud.
UFRJ	26 PhD, 7 MSc e 31 estud.
Embrapa/SC	2 PhD.

Tabela 4 - Instituições e pessoal envolvido na Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia

LINHAS DE PESQUISA
Fluidos magnéticos biocompatíveis
Fluidos magnéticos
Magnetolipossomos
Compostos magnéticos e semicondutores
Fotobiologia
Nanoestruturas magnéticas e semicondutoras
Desenvolvimento de nano e micropartículas como sistemas liberadores de drogas
Escudo de biopolímeros com aplicação em liberação controlada de drogas
Biologia celular e molecular do sistema hematopoiético; Imunopatologia de tumores
Desenvolvimento de drogas e vacinas contra Leishmaniose
Restauração de imagem em SPM
Espectroscopia de força
Caracterização de superfícies
Sistemas tópicos coloidais
Desenvolvimento de nanopartículas como veículos de drogas
Desenvolvimento de sistemas de partículas

Tabela 5 - Linhas de Pesquisa da Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia

NOME DA INSTITUIÇÃO	PESSOAL ENVOLVIDO
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE	6 PhD e 22 estud.
Universidade Federal do Ceará - UFC	4 PhD e 17 estud.
Universidade de São Paulo – USP/SP	12 PhD, 2 MSc e 22 estud.
Universidade Federal da Bahia – UFBA	3 PhD e 6 estud.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN	4 PhD e 9 estud.
Universidade Federal de Alagoas – UFAL	2 PhD e 7 estud.
Universidade Federal do Maranhão – UFMA	1 PhD e 2 estud.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul– UFRGS	1 PhD e 7 estud.
Universidade Federal de Campinas – Unicamp	4 PhD e 7 estud.
Universidade Federal de São Paulo – USP/Bauru	1 PhD e 3 estud.
Universidade Católica – PUC-RJ	2 PhD e 4 estud.
Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ	2 PhD e 2 estud.
Escola Politécnica – USP/SP	3 PhD e 8 estud.
Universidade de São Paulo – USP/São Carlos	2 PhD e 4 estud.
Centro Federal de Educação Tecnológica – Cefet-MA	1 PhD e 1 estud.
Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN	1 PhD e 1 estud.
Universidade de Brasília – UnB	3 PhD, 1 MSc e 8 estud.

Tabela 6 - Instituições e pessoal envolvido na Rede de Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados - Nanoseminat

LINHA DE PESQUISA PRINCIPAL
Materiais semicondutores nanoestruturados: III-V e II-VI
Propriedades ópticas e de transporte em nanodispositivos e semicondutores nanoestruturados
Dispositivos semicondutores baseados em Si, SiC, materiais de banda larga, cerâmicas e polímeros
Aplicação de nanodispositivos: sensores ópticos e físico-químicos

Tabela 7 - Linhas de Pesquisa da Nanoseminat

NOME DA INSTITUIÇÃO	PESSOAL ENVOLVIDO
UFRGS	7 PhD, 10 MSc e 21 estud.
PUC-RJ	6 PhD, 5 MSc e 15 estud.
UFMG	30 PhD, 12 MSc e 51 estud.
UFRJ	26 PhD, 7 MSc e 31 estud.
UFPE	6 PhD, 1 MSc e 8 estud.
Unicamp	21 PhD, 5 MSc e 37 estud.
USP	5 PhD, 1 MSc e 6 estud.
LNLS	7 PhD, 2 MSc e 10 estud.
UFP	4 PhD, 1 MSc e 7 estud.
CBPF	5 PhD e 7 estud.
UFSC	6 PhD, 2 MSc e 8 estud.

Tabela 8 - Instituições e pessoal envolvido na Rede de Pesquisa em Materiais Nanoestruturados

LINHAS DE PESQUISA
Nano-objetos
Semicondutores
Nanoestruturas magnéticas
Automontagem, polímeros e cerâmicas
Teoria e simulação

NOME DA INSTITUIÇÃO	PESSOAL ENVOLVIDO
UFPE	12 PhD e 39 estud.
USP	10 PhD e 37 estud.
UFRJ	9 PhD e 31 estud.
UFRJ	2 PhD.
Ponto Quântico	3 PhD e 1 estud.
UNESP	2 PhD e 6 estud.
IPEN	2 PhD e 2 estud.
IPT	1 PhD e 3 estud.
CBPF	1 PhD e 2 estud.
PUC-RIO	1 PhD e 2 estud.
UFPB	6 PhD e 16 estud.
UFPR	4 PhD e 11 estud.
UEPG	2 PhD e 5 estud.
Unicentro	1 PhD e 3 estud.
UFS	5 PhD e 12 estud.

Tabela 10 - Instituições e pessoal envolvido na Rede de Pesquisa em Molecular e de Interfaces - Renami



LINHAS DE PESQUISA
Sistemas supramoleculares
Nanodispositivos moleculares – sensores e dosímetros
Simulação dinâmica-molecular
Nanocompostos SiC
Produção de nanoestruturas em EC-STM
Filmes finos de carbono duro amorfo
Investigações por AFM de filmes <i>magnetron sputtering</i>
Previsões teóricas de estrutura e espectro eletrônico
Simulações de dinâmica molecular
Materiais fotônicos para nanodispositivos
Produção de filmes finos metálicos por difusão de nanopartículas em vidros
Filmes magnéticos
Reconhecimento molecular
Interações eletrônicas em agregados supramoleculares
Simulação (<i>mimicking</i>) de sistemas biológicos
Novas interfaces moleculares
Absorção superficial seletiva – nanopartículas magnéticas
Filmes cerâmicos
Revestimento (<i>coating</i>) e materiais biocompatíveis
Complexos luminescentes e macrocíclicos
Funcionalização de supramoléculas
Imunoensaio biológico
Processos fotônicos em materiais nanoestruturados
Vidrocerâmicas híbridas nanoestruturadas
Deteção (<i>tracking</i>) fotônica em sistemas biológicos
Spintrônica
Nanocompostos e membranas poliméricas

Tabela 13 - Linhas de Pesquisa do Instituto do Milênio de Nanotecnologia

NOME DA INSTITUIÇÃO	PESSOAL ENVOLVIDO
UFMG	32 PhD e 36 estud.
UFMG	4 PhD e 9 estud.
UFF	2 PhD e 3 estud.
UFRJ	11 PhD e 11 estud.
UFV	2 PhD e 1 estud.
CDTN	2 PhD e 1 estud.
LNLS	1 PhD e 2 estud.
PUC-RJ	2 PhD e 6 estud.
UFSJ	2 PhD e 7 estud.
UERJ	1 PhD.
UFBA	1 PhD.
CETEC	1 PhD.
UTP-UNIT	
UFJF	2 PhD e 2 estud.

Tabela 12 - Instituições e pessoal envolvido na Instituto do Milênio de Nanotecnologia

Necessidades de longo prazo	Áreas passíveis de serem impactadas pela nanotecnologia
Busca e traqueamento	Nanosensores: nanoeletrônica integrada e nanofotônica; sensores infravermelhos; processamento de imagens ultra-rápido.
Comando e controle	Nanodispositivos: nanoprocessadores com aumento de capacidade de processamento, armazenamento e potência; técnicas de apoio à decisão. Computação quântica: eliminação de múltiplas interações; reconstrução rápida de imagens. Materiais nanoestruturados: sensores distribuídos e constituintes do material.
Efeitos controlados	Nanomateriais energéticos: melhora na taxa de fornecimento de energia; queima acelerada; armamentos menores e mais poderosos; propelentes mais seguros. Nanoeletrônica: efeitos contra radiação.
Reconhecimento	Nanosensores: detecção embarcada de longo alcance. Revestimentos: camuflagens dinâmicas, blindagens.
Presença Aeroespacial	Nanopartículas e materiais nanoestruturados: combustíveis, lubrificantes e aditivos; geração de energia e armazenamento; componentes duradouros em altas temperaturas; estruturas auto-regenerativas; estruturas muito duras. Nanoeletrônica: redes de nano e pico-satélites
Pronta-resposta Aeroespacial	Nanocompostos e nanoestruturas: estruturas super leves; custo reduzido de lançamento; materiais para alta performance e altas temperaturas; propelentes altamente eficientes.

Tabela 11 - Linhas de Pesquisa da Rede de Pesquisa em Molecular e de Interfaces - Renami

Torna-se evidente a existência de significativa base de competências e infraestruturas. A multidisciplinaridade, que é um dos principais lastros requeridos por um programa de nanotecnologia, mostra-se razoavelmente

densa em termos internacionais. Algumas atividades como a nanofabricação, apesar de apresentarem grandes perspectivas de geração de produtos e aplicações, estão ainda limitadas ao meio acadêmico, em algumas universidades e centros de pesquisa que realizam pesquisa e desenvolvimento de técnicas de fabricação, análise e aplicações em dispositivos eletrônicos, sensores, optoeletrônica, canais para fluídica e membranas. Outras atividades mostram-se dispersas nas diversas redes, como os materiais nanoestruturados. Vale ressaltar que há casos em que um mesmo pesquisador/instituição participa em duas ou mais redes, sendo que a duplicidade das frentes de pesquisa deve ser analisada caso a caso.

Embora os dados anteriores sejam bons sinalizadores de tendências, a radiografia também deve buscar a situação futura e potencial no Brasil. Um bom prognóstico pode ser obtido do número de ocorrências de propostas de projetos por categorias em resposta ao Edital MCT/CNPQ 012/2004, parte do programa "Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia", do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), conforme Figura 8 (ao lado). Pode-se observar expressivo domínio da Nanobiotecnologia sobre as outras áreas. As áreas de Materiais e Sensores também apresentaram um bom número de propostas. No entanto, áreas importantíssimas para o setor aeroespacial, como revestimentos e fotônica, mostram-se fragilizadas. Interessante notar que nenhuma proposta foi feita na área de poços quânticos, tecnologia relativamente madura e extensivamente utilizada em dispositivos optoeletrônicos. Nota-se, ainda, um domínio das propostas das duas maiores redes, Nanobiotecnologia e Materiais Nanoestruturados, como claro reflexo do sucesso do programa proporcionalmente ao tamanho das redes constituídas.



O Centro Técnico Aeroespacial - CTA e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, ambos localizados em São José dos Campos, desenvolvem vários projetos ligados à nanotecnologia. Dentre estes, pode-se destacar: dispositivos optoeletrônicos (lasers, detectores e células solares), sensores no infravermelho, imageamento infravermelho, eletrônica baseada em spin (spintronics), nanoeletrônica, filmes finos, MEMS e NEMS, revestimento anti-radiação, estruturas magnéticas e semicondutoras, blindagem cerâmica, combustíveis, revestimentos ultra-resistentes, tecnologias de plasmas, materiais semicondutores nanoestruturados, processos autoregenerativos, computação quântica e outros.

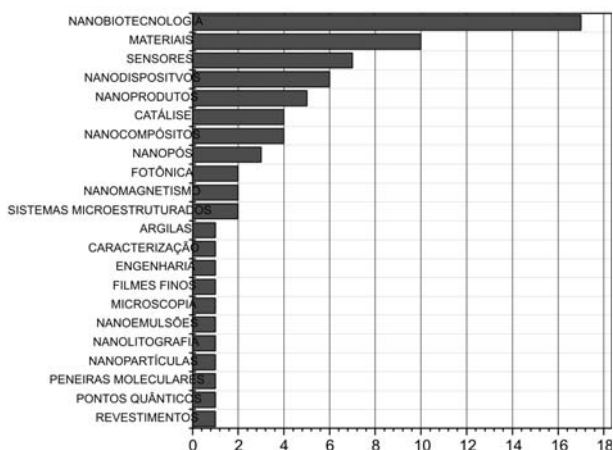


Figura 8 - Ocorrências de propostas de projetos por categorias em resposta ao Edital MCT/CNPQ 012/2004, parte do programa "Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia", do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT). Fonte: MCT/CNPq.

3 - Discussão dos Resultados

O documento "Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia", do MCT, não explicita áreas prioritárias para o Brasil. O governo deve estabelecer grande prioridade para definir essas áreas, com base em estudos prospectivos, sob o risco de desperdiçar e pulverizar os escassos recursos. É preciso determinar com precisão a infra-estrutura

disponível, os recursos humanos e as empresas interessadas, para que se possa delinear áreas onde o país pode vir a ser internacionalmente competitivo. Vale ressaltar que o setor aeroespacial é o de maior valor agregado para o Brasil, lidera a pauta de exportações e já consta com expressivo parque industrial no pólo tecnológico de São José dos Campos/SP. Em comparação com outras áreas produtivas exportadoras, conforme divulgado pelo Engo. Walter Bartels, o minério de ferro é vendido por US\$0.02/kg; produtos agrícolas em média por US\$0.30/kg; produtos aeronáuticos por US\$8.000/kg; e produtos espaciais por US\$50.000/kg. Estes dois últimos números constituem o maior valor agregado entre todos os produtos comercializados, inclusive quando comparados a fármacos e eletrônicos, justificando a classificação do setor como prioritário.

Torna-se bastante difícil quantificar o quanto já foi investido em nanotecnologia. No mundo, estima-se que US\$ 4 bilhões foram investidos apenas no ano passado. No Brasil, historicamente, nenhum dos orçamentos previstos foi contemplado de forma integral. Isto pode levar ao mesmo erro de tantas outras áreas estratégicas, como o Programa Espacial, que pela oscilação no fluxo de recursos pode perder a janela de oportunidade no mercado mundial. Destaca-se o fato de as ações para a nanotecnologia constarem do plano plurianual e do orçamento da União, mostrando a clara preocupação das autoridades condutoras do programa com o fluxo contínuo de recursos.

Entre as alternativas de novos financiamentos, destaca-se o provido pelos fundos setoriais, notadamente os do petróleo e gás (CT-Petro) e de Energia (CT - Energ), conforme noticiado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, administrador dos fundos. A criação de um fundo transversal, agregando parcelas de todos os outros fundos, que



contemplasse a nanotecnologia de forma específica, seria altamente benéfico para o país, dado o caráter multidisciplinar desta área que pode retornar benefícios a todas as outras.

A grande surpresa no levantamento realizado é que o setor aeroespacial não é visado e em momento algum é citado nos documentos disponíveis pela internet. Tal fato mostra uma grande falha na condução da pesquisa, por ambos os lados. No lado dos condutores do setor aeroespacial a pesquisa se encontra concentrada, e até certo ponto isolada, especificamente no CTA e INPE. As instituições possuem pós-graduação na área e o CTA possui inclusive graduação na figura do Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, centro de referência em engenharia. O CTA ainda possui mais 3 institutos de pesquisa, incluindo todas as frentes de P&D (básica, avançada e engenharia) e homologação aeronáutica. Este potencial quase auto-suficiente, aliado às características peculiares do setor, tende a isolar a pesquisa aeroespacial. No entanto, o aspecto multidisciplinar da nanotecnologia não combina com este tipo de isolamento. Maior aproximação com as redes do MCT e com a comunidade científica em geral é premente.

Por outro lado, a mentalidade de aplicações aeroespaciais não parece despertar interesse no meio acadêmico, e o desenvolvimento de técnicas e produtos não vislumbra homologação aeroespacial. Nem mesmo indústrias mais desenvolvidas, como mostradores de informação (displays), considera o processo de homologação. Entende-se por homologação aeronáutica o reconhecimento oficial, mediante emissão de um Certificado de Homologação, de que o projeto de determinado produto está em conformidade com os requisitos relativos à segurança e ao cumprimento da missão aérea. Como não poderia deixar de ser, o processo é extremamente minucioso e detalhado, envolvendo até

mesmo o plano da qualidade da empresa contratada.

Porém, a dedução acima não representa a realidade, pois o I Workshop em Nanotecnologia Aeroespacial, que reuniu pela primeira vez pesquisadores de todo o Brasil para discutir o tema, mostrou grande interesse na comunidade científica para trabalhar no setor. Aventou-se ainda a criação de uma rede de nanotecnologia aeroespacial com ação vertical junto à todas as outras redes. Para tal, está em curso a elaboração de um roadmap detalhado para a nanotecnologia aeroespacial, tarefa que envidará muitos esforços por vários setores da comunidade científica e de defesa, e que será coordenada pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. Esta última ação encontra-se em fase embrionária e culminará no II Workshop em Nanotecnologia Aeroespacial, a ser realizado oportunamente.

A Tabela 14 mostra as necessidades de longo prazo da Força Aérea para o cumprimento de sua missão e identifica as áreas de grande interesse para aplicações aeroespaciais da nanotecnologia. Esta tabela foi montada pelos autores e baseada nas experiências individuais.

Necessidades de longo prazo	Áreas passíveis de serem impactadas pela nanotecnologia
Busca e traqueamento	<i>Nanosensores</i> : nanoeletrônica integrada e nanofotônica; sensores infravermelhos; processamento de imagens ultra-rápido.
Comando e controle	<i>Nanodispositivos</i> : nanoprocessadores com aumento de capacidade de processamento, armazenamento e potência; técnicas de apoio à decisão. <i>Computação quântica</i> : eliminação de múltiplas interações; reconstrução rápida de imagens. <i>Materiais nanoestruturados</i> : sensores distribuídos e constituintes do material.
Efeitos controlados	<i>Nanomateriais energéticos</i> : melhora na taxa de fornecimento de energia; queima acelerada; armamentos menores e mais poderosos; propelentes mais seguros. <i>Nanoeletrônica</i> : efeitos contra radiação.
Reconhecimento	<i>Nanosensores</i> : detecção embarcada de longo alcance. <i>Revestimentos</i> : camuflagens dinâmicas, blindagens.
Presença Aeroespacial	<i>Nanopartículas e materiais nanoestruturados</i> : combustíveis, lubrificantes e aditivos; geração de energia e armazenamento; componentes duradouros em altas temperaturas; estruturas auto-regenerativas; estruturas muito duras. <i>Nanoeletrônica</i> : redes de nano e pico-satélites
Pronta-resposta Aeroespacial	<i>Nanocompostos e nanoestruturas</i> : estruturas super leves; custo reduzido de lançamento; materiais para alta performance e altas temperaturas; propelentes altamente eficientes.

Tabela 14 - Necessidades de longo prazo da Força Aérea e áreas de grande interesse para aplicações aeroespaciais da Nanotecnologia

Um aspecto singular da indústria aeroespacial é que novas tecnologias, sejam elas nano, micro ou macro, não são facilmente absor-



víveis, tanto pelo aspecto da homologação como dos investimentos em recursos humanos e materiais. Este processo torna-se ainda mais crítico quando se trata de nanotecnologias, cujo caráter multidisciplinar e alto preço dos bens de produção distancia ainda mais a indústria da pesquisa. Torna-se imperioso o estreitamento das relações entre centros de pesquisa e indústria, de forma a facilitar o acesso às instalações e a transferência de pessoal qualificado em fluxo constante.

A pesquisa em microgravidade, típica do ambiente espacial, pode fornecer futuros impulsos para a nanotecnologia. Os resultados podem contribuir a um melhor entendimento e modelamento mais preciso de procedimentos nanotecnológicos. Isto se aplica especificamente à formação de nanopartículas nas fases gasosa, líquida, plasma e também a fenômenos dependentes da gravidade em sistemas nanofásicos, como fluídos magnéticos. Um requisito substancial para o uso de microgravidade é o desenvolvimento de experimentação espacial adequada e dispositivos de medida, no que a comunidade científica nacional pode se beneficiar muito da experiência do CTA e INPE. A participação brasileira na Estação Espacial Internacional é de grande valor para o futuro da nanotecnologia aeroespacial.

4 - Conclusão

Ao se atingir um momento tecnológico crucial, onde se depara com uma tecnologia que abre inúmeras possibilidades e tão grande quantidade de aplicações, obtém-se certeza de que nenhuma ciência jamais abrangeu gama tão grande de disciplinas e causou a todas, mudanças tão profundas.

A nanotecnologia é, então, uma ciência revolucionária, pois pode alterar conceitos e afetar várias áreas de forma definitiva.

Além de tudo, a nanotecnologia é multidisciplinar e quando se refere a essa sua

qualidade, percebe-se que ela pode agregar diversas ciências, ou que na maioria das vezes, o que é bom para uma determinada ciência também pode ser bom para outra de área bastante diferente.

Demonstrou-se, através dos dados apresentados, que o desenvolvimento nanotecnológico ainda está em fase embrionária, assim com sua aplicação no setor aeroespacial. Logo, ainda há chance para investimento maciço com a finalidade de gerar a maior quantidade de riqueza para o país no médio e longo prazos.

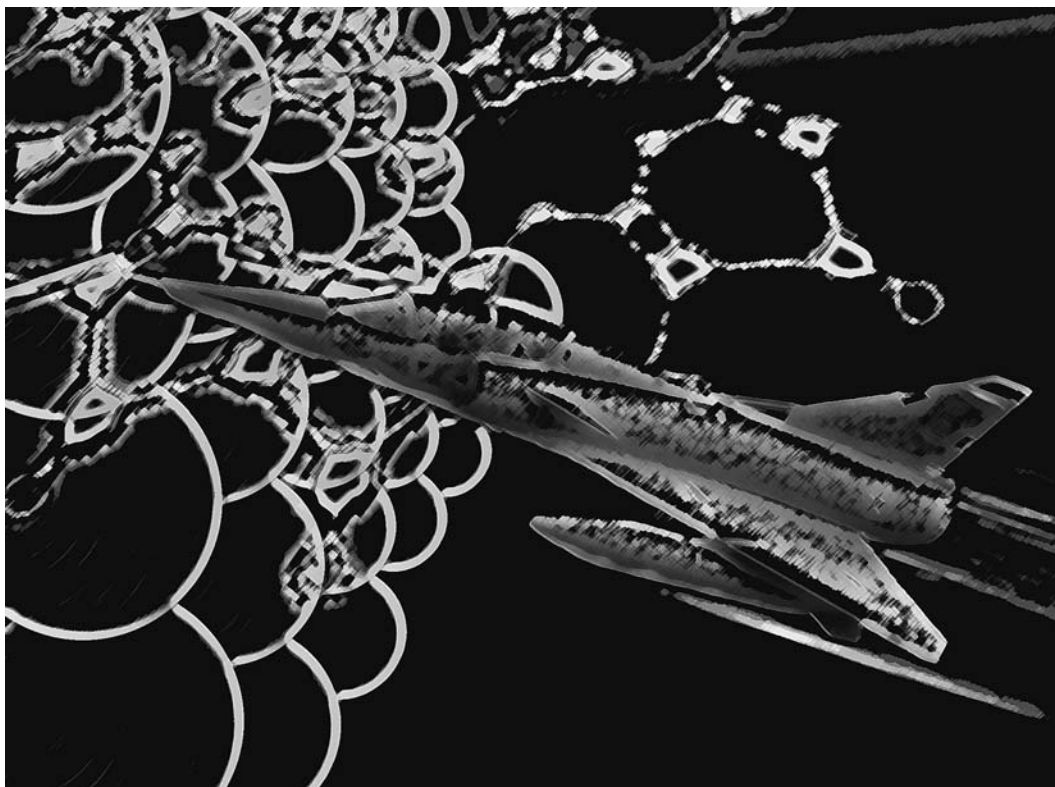
Como não se dispõe de grande quantidade de recursos para diversificar demais os investimentos, deve-se priorizar sua utilização para poder melhor geri-los.

A multidisciplinaridade da nanotecnologia, apesar de ser uma grande qualidade, pode produzir dúvidas no momento de se priorizar as áreas mais promissoras para investimentos. Não se deve prender, apenas, às disciplinas, ou ciências isoladamente, mas focar no desenvolvimento daquelas tecnologias com maior probabilidade de serem aplicadas ou que propiciem melhores relações custo benefício, tanto social como econômico. Isto quer dizer que se deve investir naquilo que poderá atender a um maior número de aplicações, a um custo relativamente baixo e com maior valor agregado.

O setor aeroespacial, além de ser o maior exportador do país, conta com reconhecida e madura indústria nacional, além de centros de pesquisa altamente qualificados e capazes de agregarem a comunidade científica em torno das aplicações nanotecnológicas. Considerando-se ainda que este setor proporciona o maior valor agregado entre todos os produtos manufaturados, especial atenção deve ser dada à nanotecnologia aeroespacial.

A criação de uma rede de nanotecnologia aeroespacial, com ação vertical junto à todas





as outras redes nanotecnológicas do MCT, constituiria uma iniciativa de grande potencial para o expressivo desenvolvimento das nanotecnologias de forma geral, do setor exportador aeroespacial, e das riquezas geradas no país.

Finalmente, estamos diante de uma

oportunidade única de ingressarmos na nova era em fase com os países desenvolvidos, contando com uma sociedade científica organizada e estruturada através de um modelo que valorize a complementaridade de competências.

Referências

ALEMANHA. Applications of Nanotechnology in Space Developments and Systems.

Dusseldorf: VDI Technology Center, Future Technologies Division. 135 p. 2003.

BRASIL Ministério da Ciência e Tecnologia. **Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia.** Grupo de Trabalho criado pela portaria MCT n° 252, de 16/05/2003. p.28. 2004.

DA SILVA, André César. **Nanotecnologia** - uma iniciativa recomendada para a Aeronáutica. Monografia - Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica. Rio de Janeiro. 49 p. 2002.

EUA. Committee on Implications of Emerging Micro- and Nanotechnologies. Implications of Emerging Micro- and Nanotechnologies.

Washington: National Academy of Sciences. 266 p. 2003.

KNOBEL, Marcelo. **Nanoredes.** Parcerias Estratégicas - CGEE, v.18, p.99-104. 2004.

SILVA, Cylon Gonçalves Da. **Nanotecnologia: o desafio nacional.** Parcerias Estratégicas - CGEE, v.18, p.5-8. 2004.

