

Nanotecnologia - Breve contextualização sobre as Aplicações e Implicações

Tenente-general PilAv
Manuel Fernando Rafael Martins



1. Introdução

A compreensão dos assuntos científicos, especialmente os de maior complexidade, requer uma sólida cultura de base, e o acompanhamento continuado para a compreensão das interações nas diversas áreas de conhecimento. A noção de esclarecimento público sobre assuntos de natureza científica e tecnológica, e a adequabilidade dos métodos para garantir níveis apropriados de interesse em múltiplas franjas da sociedade, tem sido matéria controversa, onde a aplicação de um único modelo nem sempre é geradora de consenso. Também sabemos que o interesse sobre certas matérias só se mantém quando há envolvimento ou proveito na atividade de investigação. No entanto, se por outro lado, a indiferença tende a ser geradora de *deficits* de conhecimento, materializados no desinteresse sobre as questões da ciência – fragilizando a legitimidade dos investimentos públicos dirigidos à investigação e desenvolvimento; um maior conhecimento e compreensão será naturalmente garante de maior apoio e apreço sobre os benefícios sociais da atividade científica.

Embora a divulgação e debate público sobre as principais questões que envolvem a investigação, desenvolvimento e aplicações da nanotecnologia (NT) tenha acompanhado a comunidade científica e académica desde meados da década passada, a sua propagação parece continuar ausente para uma percentagem significativa de académicos e ainda mais para a generalidade da população. Por considerarmos que este novo ramo da ciência poderá vir a ter um impacto muito significativo na sociedade, desencadeámos este estudo no intuito de divulgar alguns dos aspetos relacionados com o desenvolvimento, utilização e eventuais limitações e riscos associados à NT. A opção do autor em tratar o tema de forma simultaneamente abrangente e fragmentada deverá estimular a curiosidade do leitor para complementar alguns domínios “tocados” neste ensaio.

No sentido de despertar consciências e promover o esclarecimento dos europeus, a Comissão Europeia (CE) desenvolveu^[1], no início da década passada, a plataforma NANOFORUM (www.nanoforum.org), destinada a apoiar e divulgar as atividades sobre NT. Esta rede pan-europeia de instituições tem publicado um volume muito significativo de notícias, estimulando o interesse e produção de trabalhos neste domínio do conhecimento. Os numerosos relatórios e ferramentas disponíveis na internet sobre a NT têm permitido, não só a aprendizagem como a discussão alargada das questões mais polémicas. Esta iniciativa constitui-se num contributo importante para a implementação da política europeia designada “*Responsible Research and Innovation*”, assente na comunicação bidirecional entre os cidadãos europeus e as suas instituições. O *ObservatoryNano*, órgão de apoio à política europeia, acrescenta-se às funções do NANOFORUM focalizando-se na análise e impacto da NT nas áreas: económica, científica, ética, social, ambiental, saúde e segurança. O *Annual Report 4 on Ethical and Societal Aspects, do ObservatoryNano* WP4, publicado em março de 2012, é mais um exemplo recente desse contributo.

As expetativas iniciais^[2] apontadas para a NT têm vindo a ser confirmadas, tanto nos setores académicos como industriais ou governamentais. O conhecimento, investigação e divulgação ocorrem globalmente, observando-se uma dinâmica predominante por parte dos EUA.

Durante o processo de pesquisa, deparamos com documentos que fazem referência os graus de conhecimento e aceitação pública da NT nos espaços da União Europeia (UE), EUA, e Japão^[3]. Nalguns documentos são analisados os resultados das iniciativas nacionais na Bélgica, Holanda, Reino Unido, EUA, França, Alemanha e Suíça. Estes países foram alvo dessa análise em resultado do maior dinamismo na divulgação sobre assuntos ligados à NT, levada a cabo na última década, atividade que desenvolveram à escala regional e/ou nacional.

A título de exemplo, na sondagem do Eurobarómetro, realizada em 2010, apenas 45% dos europeus inquiridos afirmou ter ouvido falar em NT. Nesta sondagem, surge destacada a Suíça, com 75% dos inquiridos a responder terem conhecimento sobre a NT, valor que contrasta com a média de 46% na UE27.

Estes indicadores e o entusiasmo individual sobre este ramo do conhecimento, são razões suficientes para a divulgação desta temática, a qual sai reforçada por Portugal acolher, em Braga, o Laboratório Internacional Ibérico de Nanotecnologia (INL), onde os importantes investimentos pressupõem atividades de investigação de alto nível.

A aceleração na propagação do conhecimento científico, transmutação na ordem mundial e convergência tecnológica levam-nos a deduzir que a NT será um fator de desenvolvimento incontornável na década em curso. A prudência exige que pensemos com antecipação os possíveis cenários e que nos preparemos para a mudança. Este texto pretende ser um modesto contributo destinado a esbater desigualdades de conhecimento e a democratizar oportunidades de progresso.

Ao longo de milhões de anos, tem sido a Natureza a obreira laboriosa da transformação e constituição da biologia à nanoescala – a maioria das transformações intracelulares ocorre precisamente nestas dimensões. Um filamento de DNA, por exemplo, possui um diâmetro de 2nm, cerca de metade de uma célula de hemoglobina.

Tal como há muito acontece na biologia, o domínio da NT permitirá capacidades de auto-reprodução que a denominam “tecnologia exponencial”. O que quer dizer que é teoricamente possível desenvolver um sistema de fabricação capaz de produzir outros sistemas de fabricação de fábricas que se multiplicam de maneira rápida, barata e limpa. À semelhança do que aconteceu com a eletricidade ou os computadores, espera-se que a NT venha a influenciar quase todas as facetas da atividade humana.

Adiante abordaremos conceitos genéricos sobre o estado da arte, atividade científica, domínios de aplicabilidade e para encerrar, com uma reflexão sobre as vantagens e metodologia de prevenção e controlo dos materiais de base da NT.

A aceitação pública para utilização da NT nos variados domínios da atividade humana, bem como a comercialização de produtos compostos de substâncias afins, resultará em larga medida da confiança dos consumidores, conseguida através da aprovação e divulgação de resultados por entidades de idoneidade inquestionável.

Consciente da amplitude e interesse desta temática, o autor assume-se cautelosamente otimista relativamente ao futuro da NT, proporcionando aos leitores a panorâmica sobre as seguintes questões e domínios:

1. O que é a NT?
2. Como influenciará as nossas vidas?
3. Requisito para novos padrões e instrumentos de controlo – Nanometrologia.
4. Interesse e comprometimento – Nacional e Internacional.
5. Influência na Segurança e Defesa?
6. Estratégias para a prevenção dos efeitos nocivos dos *Nano Enabled Products* (NEP)?

Tomemos um exemplo prático para antecipar a visualização das dimensões a tratar. A figura 1 mostra-nos como uma unidade de massa de material na nanoescala, permite cobrir uma área muito superior quando comparada com a mesma massa numa escala maior. Este efeito é alcançado pelo aumento da superfície de contacto por unidade de massa.

Quando 1cm^3 é subdividido em partículas (10^{21} cubos) com 1 nanómetro (nm), cada uma com uma área de 6nm^2 , a área total de cobertura será de $6,000\text{ m}^2$ – superior à área de um campo de futebol. Esta capacidade dos materiais nanoestruturados traduz-se em

incrementos substanciais de reatividade com aplicação em catalisadores, e de enormes vantagens na indústria química, têxtil e farmacêutica.

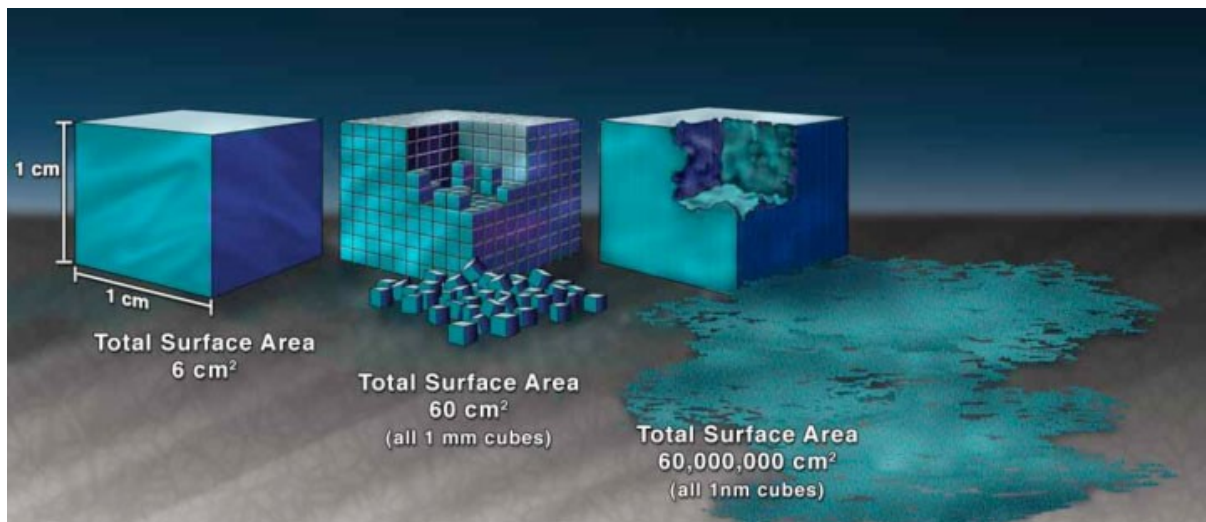


Figura 1: Incremento da superfície de contacto por efeito de escala

Fonte: <http://www.nano.gov/centers-networks>

2. O que é a NT?

A NT é um campo inter-multidisciplinar, onde Biólogos, Químicos, Físicos e Engenheiros estão envolvidos no estudo de substâncias à nanoescala.

No início dos trabalhos de investigação, os especialistas começaram por discordar sobre o que constituía a nanoescala. Hoje, já podemos pensar a NT como o processo que lida com dimensões ^[4] entre 1nm e 100nm.

O termo NT terá alcançado a popularidade no início da década de 1980, na sequência dos trabalhos de investigação realizados por K. Eric Drexler ^[5], Ph.D.. No entanto, em 1959, Richard Feynman ^[6], um dos mais célebres cientistas do séc. XX, já tinha despertado a comunidade científica e académica para esta realidade.

Passadas mais de três décadas sobre a publicação da dissertação de Drexler, verificamos que a definição, evolução e aplicações resultantes das atividades de investigação foram convergindo de acordo com as expectativas então apontadas pelo autor.

À ciência, engenharia e tecnologia desenvolvidas à nanoescala designa-se

nanotecnologia^[7]. Podemos ainda afirmar que a NT é a capacidade potencial de criar “coisas” a partir do mais pequeno, usando as técnicas e ferramentas concebidas para posicionar cada átomo e/ou cada molécula no lugar desejado. Se este sistema de engenharia molecular alcançar a maturidade esperada, o resultado será uma nova revolução industrial. Além disso, esta capacidade potenciará também importantes consequências económicas, sociais, ambientais e militares.

Mas, para um melhor entendimento do mundo da NT, precisamos ter uma ideia das unidades de medida envolvidas. No dia-a-dia, todos somos treinados para visualizar um milímetro, mas só alguns imaginam um micrómetro que é um milionésimo de um metro. No entanto, estas dimensões são colossais quando comparadas com a nanoescala. Um nanómetro (nm) é um bilionésimo de metro, que corresponde ao alinhamento de 10 átomos de hidrogénio, menor do que o comprimento de onda da luz visível e um centésimo de milésimo da largura de um fio de cabelo humano^[8]. Estas grandezas podem apenas ser imaginadas recorrendo à utilização de regras de proporcionalidade com objetos visíveis^[9], ou por observação indireta com equipamentos altamente sofisticados, como é o *Scanning Tunneling Microscope* (STM), desenvolvido em 1981, que permite a observação de átomos e moléculas na superfície dos objetos.

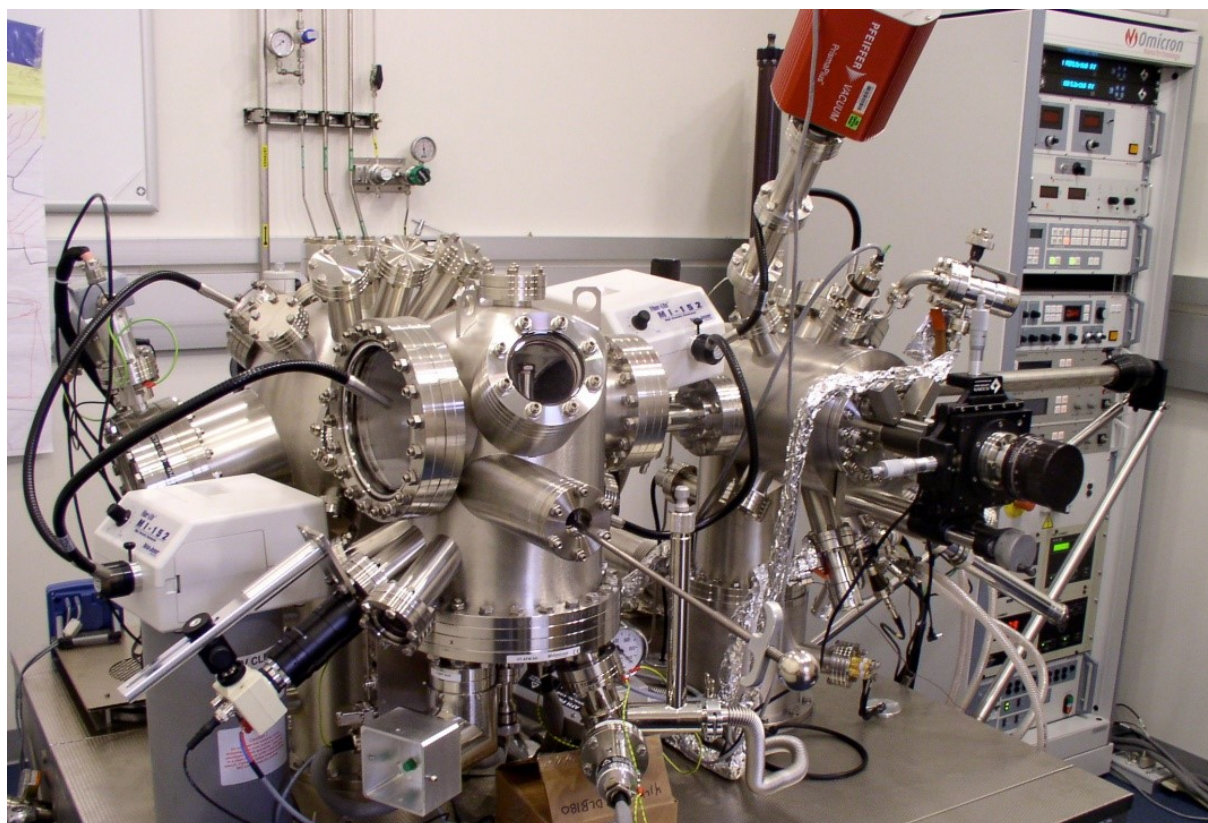


Figura 2: STM desenvolvido com base nas descobertas de Rohrer e Binnig

O âmbito, definição e vocabulário para o desenvolvimento dos múltiplos domínios da NT também têm sido alvo de demorada e alargada discussão pela comunidade internacional, originando consensos importantes para o exercício da ciência, engenharia e tecnologia na nanoescala, assim como para a engenharia de sistemas funcionais à escala molecular.

Mas, os aspetos mais surpreendentes desta área de conhecimento residem nas inúmeras possibilidades resultantes dos efeitos e propriedades da matéria nestas dimensões (*quantum effects*). Na realidade, a NT transcende a mera manipulação de substâncias na nanoescala, abrangendo a exploração e combinação dos comportamentos e propriedades especiais^[10] da matéria que ocorrem nessa escala.

Importa sublinhar, como já referimos anteriormente, que a maioria dos processos biológicos na natureza ocorre nestas dimensões. Isso tem permitido aos cientistas aperfeiçoar modelos e processos com impacto nos mais diversos domínios, encontrando-se já disponíveis no mercado vários produtos com aplicações baseadas na NT. A medicina, saúde e cosmética são apenas algumas das atividades e mercados beneficiadas pelos investimentos nestas áreas de investigação e desenvolvimento.

O ouro constitui um exemplo dessas aplicações, sendo uma das substâncias mais promissoras no campo da nanomedicina.

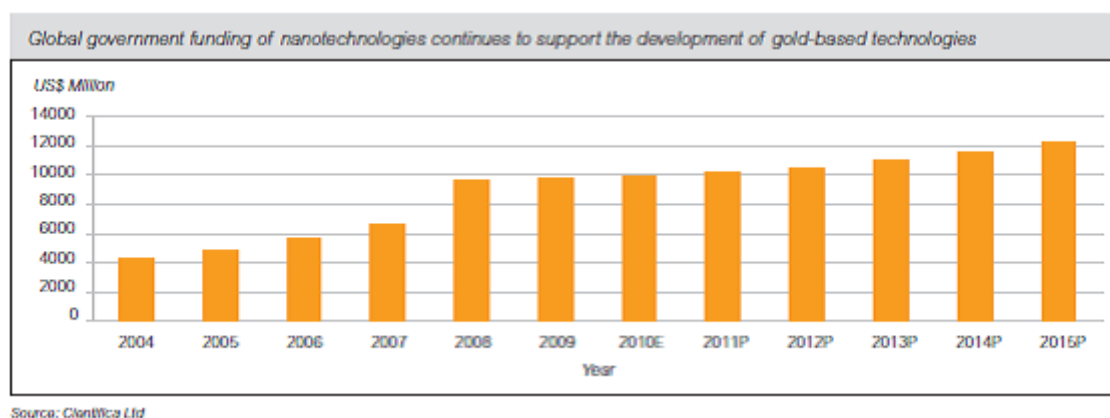


Figura 3: *World Gold Council: Gold for good* (pág. 18)

Fonte: World Gold Council in association with Científica; Gold and Nanotechnology in the Age of Innovation

A antevisão da *U.S. National Nanotechnology Initiative (NNI)*^[11], apontou quatro gerações de produtos resultantes do seu desenvolvimento: a primeira, designada de nanoestruturas passivas, é composta por revestimentos, nanopartículas, aerossóis, polímeros, compósitos, nanoestruturas e cerâmicas; a segunda, designada por nanoestruturas ativas, é composta por produtos com efeitos bio-ativos (drogas dirigidas,

sensores e *bio-devices*) e físico-químico ativos (amplificadores, atuadores, estruturas adaptativas...); a terceira, atualmente em desenvolvimento, é composta por sistemas de nanosistemas (novas arquiteturas hierárquicas, robótica, sistemas evolucionários...); a quarta, prevista para o período de 2015 a 2020, deverá incluir dispositivos resultantes de manipulação molecular, *atomic design* e outras funções emergentes.

Os avultados investimentos na investigação e desenvolvimento na NT atestam as múltiplas oportunidades deste negócio^[12] em praticamente todos os setores da atividade humana. Só em 2006, o valor do investimento global neste setor alcançou mais de 12 bilhões de USD, distribuídos em partes equivalentes entre os setores público e privado. Entre 2000 e 2012, o Congresso norte-americano atribuiu cerca de 18 bilhões de USD em investigação e desenvolvimento em NT no âmbito da NNI.

No entanto, o entusiasmo persistente quanto ao alcance das aplicações da NT tem sido prudentemente acompanhado e temperado por outras dimensões, nomeadamente as ligadas à segurança e bem-estar e progresso da humanidade. Os riscos associados à produção e consumo da nanoescala (nanopartículas, toxicidade, etc.) e as implicações de longo prazo, resultantes da manipulação molecular (potencial aceleração de capacidades com ausência dos adequados mecanismos de controle) poderão originar fatores de instabilidade^[13] global. Estas preocupações enquadram-se no âmbito da nanosegurança e estão a ser alvo de estudos exaustivos pelas *Environment Health and Safety* (EHS), *Safenano*, *EU NanoSafety Cluster* e *ELSA*, aspetos que abordaremos de forma sumária no final deste trabalho tratando as questões relacionadas com a Prevenção, Segurança e Saúde Ambiental das nanopartículas.

Perante a miríade de possibilidades, a ganância e o poder poderão despertar motivações para aplicações altamente lucrativas e perigosas. A propósito, transcrevemos uma das afirmações do Almirante David E. Jeremiah (U.S.) por ocasião da *Foresight Conference on Molecular Nanotechnology*, em 1995: “As aplicações militares da fabricação molecular terão maior capacidade do que as armas nucleares para alterar radicalmente o equilíbrio de poderes”. Veremos sumariamente algumas das implicações desta realidade.

3. Como influenciará as nossas vidas?

Podemos afirmar que a generalidade das atuais “aplicações” em NT se encontra em fase evolucionária. Quer isto dizer que oferecem apenas vantagens incrementais, através da melhoria de produtos existentes no mercado, proporcionando benefícios económicos e sociais ainda relativamente modestos. No entanto, no longo prazo, são expectáveis transformações revolucionárias com profundas implicações económicas e sociais.

As indústrias e comunidade científica, têm sido alvos de consideráveis graus de especulação sobre o prazo e efeitos das potenciais aplicações da NT.

Uma das evidências que confirma estas potencialidades é o incremento do investimento

privado neste setor que, nos EUA, já duplicou o volume do investimento público^[14]. Elencamos seguidamente algumas áreas de atividade de potencial para a ocorrência de avanços revolucionários:

- a. Acesso universal a água potável;
- b. Produção de energia limpa, renovável e barata, com possibilidade de aplicação aos sistemas de armazenagem e transmissão;
- c. Tecnologia para tratamento e deteção de doenças do foro oncológico e outras enfermidades fatais;
- d. Elevada rentabilidade na produção de alimentos com impacto na nutrição;
- e. Descontaminação e reparação de danos ambientais;
- f. Desenvolvimento de materiais com capacidade de autorregeneração;
- g. Sensores de alta sensibilidade aplicáveis na deteção de vírus, bactérias e toxinas em ínfimas quantidades (substâncias químicas ou biológicas);
- h. Dispositivos de memória de alta densidade;
- i. Aplicações para a Segurança e Defesa e exploração espacial.

4. Requisito de novos padrões e instrumentos de controlo - Nanometrologia

Em julho de 2006, o nanoforum^[15] publicou mais um relatório - o oitavo - desta vez alusivo à nanometrologia^[16]. O conceito de nanometrologia foi introduzido nessa altura, dirigindo-se não apenas às partículas de grandeza entre 1 e 100nm - com precisão até 0,1nm -, mas ainda à caracterização das propriedades dos materiais. Esta atividade inaugurou uma nova área de conhecimento de extrema importância, ao permitir a introdução de elementos de padronização essenciais à comparação, classificação e regulamentação internacional^[17]. A densidade, tamanho, distribuição do grão, e complexidade da forma são alguns dos parâmetros de caracterização quantitativa das nanoestruturas. Existem outros, como por exemplo a descrição da porosidade onde é mais difícil estabelecer padrões.

A leitura deste relatório permite conhecer parte substancial da taxonomia associada às atividades da nanociência. Contém terminologia, abreviaturas, símbolos e instrumentos essenciais a uma atividade onde a precisão exigida na maioria dos casos é de 0,1nm. Relembramos que os átomos têm dimensões inferiores a 1nm e que a maioria das proteínas e moléculas ultrapassam essa dimensão. As técnicas e procedimentos

convencionais não têm, na maioria dos casos, aplicação às nanoestruturas, daí a necessidade em desenvolver e aplicar protocolos especiais cujo desrespeito causará certamente erros e avaliações desastrosas.

A caracterização e natureza das nanoestruturas a que aludimos anteriormente é efetuada através da Estereologia. Esta ferramenta apoia-se na informação tridimensional (número, tamanho, superfície e volume), obtida a partir de medições microscópicas a duas dimensões.

Para superar os múltiplos desafios associados ao controlo, padronização, desenvolvimento, aplicação e segurança da atividade, são necessários instrumentos e técnicas de aceitação universal. Estamos perante oportunidades para novas descobertas científicas, visto que domínios do saber outrora separados – como a biologia, química, ciência e tecnologia dos materiais – passaram a ser integrados e tratados em conjunto pelas técnicas da ciência computacional dos materiais. O ritmo acelerado com que ocorrem estas transformações constitui um forte estímulo para a comunidade científica e para os investidores que antecipam necessidades globais de comercialização no domínio da Nanometrologia.

Porque o desenvolvimento e investimento na NT tem vindo a ocorrer à escala planetária, os padrões associados a esta atividade procuram a aceitação universal.

A UE não tem sido alheia nem passiva neste processo. Estabeleceu vários programas e tem vindo a coordenar esforços na busca do necessário consenso internacional. Um dos projetos mais importantes no âmbito da Nanometrologia é o *Technical Committee on Nanotechnologies* – ISO TC 229 –, destinado ao desenvolvimento de padrões, definições e técnicas de ampla aceitação.

Na listagem das empresas ou instituições com atividade ou responsabilidades na Nanometrologia, Portugal surgia unicamente representado pelo Instituto Português da Qualidade, referindo as suas competências no domínio da metrologia, mas ainda sem certezas quanto ao seu envolvimento na Nanometrologia. *“It is not clear if they are involved in nanometrology activities.”*

O corpo do relatório descreve ainda um conjunto importante de métodos e técnicas complementares aplicáveis à Nanometrologia, com ênfase especial na espectroscopia, eletroluminescência e resposta elétrica.

À data da sua publicação (2007), existiam ainda fortes reservas quanto à fiabilidade e maturidade dos processos. A parte conclusiva daquele documento releva a necessidade de cooperação, sublinhando a importância do esforço concertado da UE para o desenvolvimento e implementação dos padrões necessários à Nanometrologia, alertando para a urgência desta condição, justificando-a com o leque de atividades e indústrias que já utilizam os nanomateriais e que vem sendo ampliada.

5. Interesse e comprometimento - Nacional e Internacional

Portugal também tem acompanhado e desenvolvido nanociência e NT. O Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia, localizado em Braga, foi concebido e adaptado para a investigação e desenvolvimento de NT. Conta com um investimento anual de 30 milhões de euros e tem vindo a ser apetrechado com os recursos humanos e materiais adequados à sua atividade.

No entanto, as atividades de investigação nacionais não se esgotam aí. Em 2010, numa publicação do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, duas examinadoras de patentes justificam o crescente interesse e gastos na NT a nível mundial e nacional.

Os valores são representativos da estratégia e das possibilidades de cada país, em 2010.

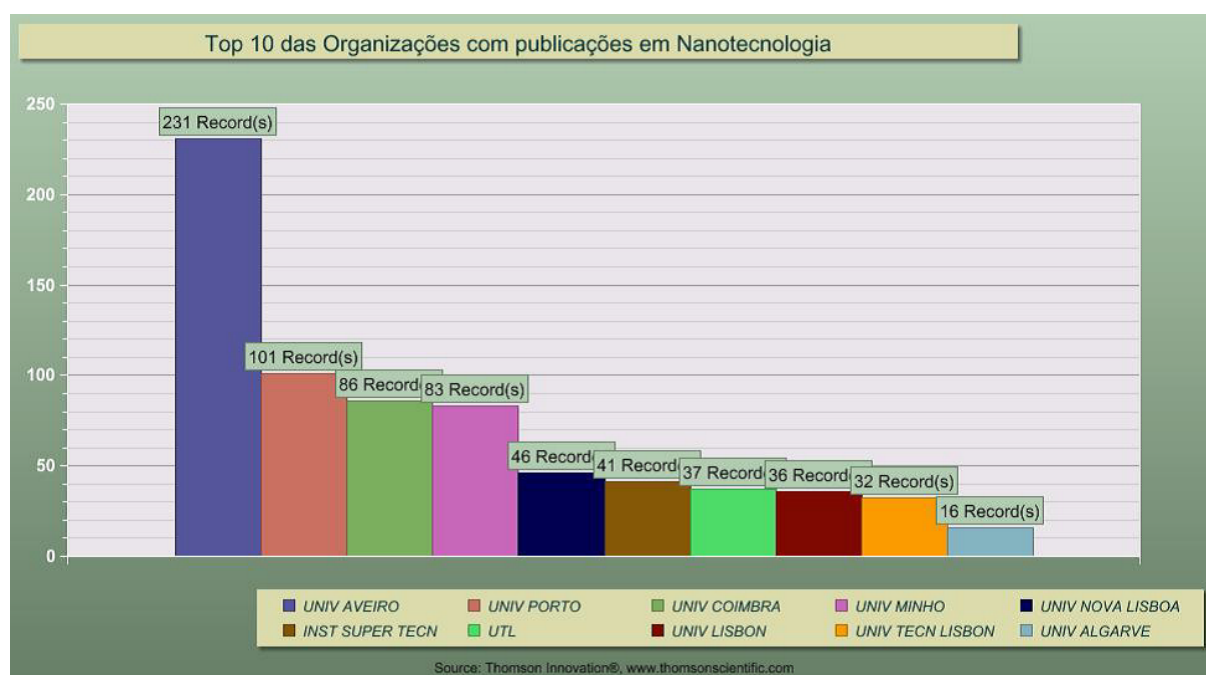


Figura 4: Gráfico com as principais publicações nacionais, entre 2001 e 2010, na área da NT

Fonte: Evolução da Nanotecnologia - abordagem nacional e internacional, Julho 2010 (pág. 13)

Refere ainda que, à data da publicação, existiam cinco universidades portuguesas com pedidos de patentes (14) na área da NT e 709 artigos publicados.

Encontramos também níveis de financiamento do setor público e privado onde se destacam os EUA, Japão e Alemanha.

País	Níveis de financiamento actual	Níveis de financiamento per capita
Reino Unido	\$0.12B	\$1.96
EUA	\$1.554B	\$5.06
Alemanha	\$0.5B	\$6.07
Japão	\$0.38B	£2.99
França	\$0.21 B	\$3.28
Tailândia	\$0.12B	\$5.22

Tabela 1: Valores de financiamento do setor público, em 2008

Fonte: Evolução da Nanotecnologia - abordagem nacional e internacional, Julho 2010 (pág. 4)

Globalmente, as atividades de NT apresentam uma distribuição onde a indústria americana e japonesa se encontram claramente na vanguarda.

País	Níveis de financiamento actual	Níveis de financiamento <i>per capita</i>
Reino Unido	\$0.09B	\$1.47
EUA	\$1.8B	\$5.86
Alemanha	\$0.3B	\$3.64
Japão	\$1.1B	\$8.66
França	\$0.1 B	\$1.56
Tailândia	\$0.11B	\$4.79

Tabela 2: Valores estimados de financiamento empresarial, em 2008 (setor privado)

Fonte: Instituto nacional da Propriedade Industrial - Evolução da Nanotecnologia - Abordagem nacional e internacional (2010, pág. 5)

Do estudo resultou também um mapa tecnológico com os principais requerentes em patentes e trabalhos publicados - Portugal encontrava-se na cauda da Europa.

6. Influência na Segurança e Defesa?

Os dramáticos acontecimentos que inauguraram o início do séc. XXI, e que persistem em eclodir em modos e escalas diferenciados, ameaçam a segurança dos cidadãos e afetam o tradicional funcionamento das culturas ocidentalizadas. A sociedade não tardou a adaptar-se a uma nova realidade, através da mobilização e desenvolvimento dos meios capazes de prevenir e enfrentar esses desafios. No entanto, as potencialidades de vigilância e controlo, geradas pelas novas tecnologias, despoletaram inquietações no campo das liberdades individuais que fizeram abrandar o ímpeto inicial para a sua implementação universal.

A salvaguarda dos valores e preservação do modo de vida originou o desenvolvimento de medidas de deteção e proteção mais poderosas. A nanoeletrónica surgiu como uma das tecnologias mais promissoras para o controlo das pessoas, constituindo-se também como uma das aplicações mais controversas, motivando acesos debates públicos, direccionados para o setor das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC).

Esta questão continua a fomentar discussões no seio da UE, em prol do delicado equilíbrio entre a segurança e a liberdade como direitos fundamentais. Para o efeito, a CE tem vindo a tomar várias iniciativas no sentido de alcançar compromissos e desenvolver um código de conduta para as questões da segurança. Procurou também aconselhamento junto da comunidade científica e tecnológica, tendo envolvido diversos investigadores no processo de discussão.

As atividades de controlo e vigilância foram dos assuntos mais evidenciados, com intenso debate sobre a necessidade de avaliar a relevância, eficácia e fiabilidade das várias tecnologias, a sua proporcionalidade e adequabilidade ao ambiente de segurança, o grau de aprovação social, o consentimento, e a proteção da informação individual. Alguns pensadores e autores manifestaram o interesse em alargar esta discussão a domínios como o mercado de trabalho, controlo político e eventual desgaste cultural.

As possibilidades das TIC emergentes e as múltiplas^[18] convergências científicas e tecnológicas incrementam a complexidade^[19] do debate que envolve também importantes questões éticas.

A este propósito, CE encetou, em 2003, um conjunto de ações destinadas a estabelecer os princípios e prioridades para um *European Security Research Programme* (ESRP). Em 2005, a OTAN publicou^[20] o relatório alusivo às *Security Implications of Nanotechnology*. Nesse mesmo ano é também criado o *European Security Advisory Board*, que viria a produzir um relatório que apontou as estratégias e principais setores a desenvolver, reconhecendo que alguns esforços de Investigação e Desenvolvimento (I&D) poderiam vir a beneficiar outros setores de atividade. No entanto, recomendaram a atribuição de 1 bilião de euros, especificamente dedicado aos esforços de I&D para a segurança a nível europeu.

É neste contexto que a CE virá, através dos fundos estruturais, a subsidiar vários

projetos, parte deles com aplicações no domínio da NT (*Nanotechnology and Civil Security: Nanoforum Report*). Estas aplicações têm sido essencialmente focalizadas nas capacidades de deteção, proteção e identificação sem ignorar os impactos sociais da NT.

Os novos equipamentos de deteção tendem a substituir e aperfeiçoar os existentes, ou integrar redes de sistemas em espaços públicos, prevenindo ou limitando acidentes e atentados. Estas aplicações^[21] combinam elevados graus de sensibilidade e precisão com baixo custo, atributos que permitem o desenvolvimento de redes de sensores autónomas, com capacidade de comunicação entre sistemas, reduzindo ou eliminando a presença humana em ambientes hostis/remotos. Passam a designar-se Ambientes Inteligentes em resultado da Ubiquidade Computacional instalada.

As discussões sobre estas matérias já têm alguns anos, especialmente se considerarmos que, em 2007, a utilização de etiquetas e chips RFID para controlo de produtos de consumo, transportes públicos, implantes corporais e gestão da identificação já se encontrava relativamente vulgarizada.

As potencialidades geradas pela aceleração no desenvolvimento e convergência das tecnologias, amplificaram a necessidade do debate sobre múltiplos fatores; desde a proteção da privacidade, aos contornos da sua aplicação em ambientes de alta interatividade, assim como no tratamento e/ou eventual ilicitude na exploração de dados.

Embora no domínio da proteção e descontaminação química, biológica e radiológica já exista um leque alargado de aplicações, os avanços na nanociência e nanoestruturas apontam para a emergência de capacidades surpreendentes até ao final desta década. Capacidades que permitirão entre outras: o aperfeiçoamento dos efeitos reguláveis nos processos de reconhecimento, neutralização ou destruição de toxinas; o desenvolvimento de membranas de porosidade regulável; desenvolvimento de materiais nanoestruturados para deposição ou absorção seletiva e nanorevestimentos com propriedades físicas inovadoras^[22]. As nanoesferas biodegradáveis e nanopartículas magnéticas controláveis constituem apenas um dos muitos exemplos destas aplicações à nanomedicina.

Na área da identificação individual, de produtos, bens ou substâncias, a NT já revelou excecionais capacidades. Exemplos disso são a utilização de marcas de autenticação através da distribuição aleatória de nanopartículas magnéticas embutidas em metal plástico ou material vítreo e os códigos de barras nanométricos^[23]. No domínio da ciência forense assiste-se à emergência de poderosas técnicas para deteção e identificação de impressões digitais. A segurança da informação será reforçada através da criptografia quântica que passará a utilizar a distribuição de fótons, com vantagens muitíssimo superiores às atuais técnicas de codificação cripto. Estas capacidades terão múltiplas e importantes aplicações comerciais, nomeadamente na prevenção da contrafação e pirataria.

A antevisão destas aplicações à segurança tem despoletado discussões importantes na dimensão social e humana. Como referimos anteriormente, teme-se que os direitos e

liberdades individuais que tomamos por garantidos possam sofrer erosões ajustando-se a um “novo mundo”. Talvez a aceitação e reajuste surja através da divulgação e discussão assentes num conjunto de princípios e valores éticos que garantam o justo equilíbrio entre liberdade, consentimento e segurança. Os estudos mais interessantes sobre esta temática^[24] intitulam-se “*Societal Implications of NT*”, e têm sido publicados com alguma frequência.

7. Estratégias para a prevenção dos efeitos nocivos dos NEP

A produção e exploração de dispositivos ou substâncias com nanopartículas requer o desenvolvimento de medidas especiais de proteção e controlo, bem como a formação de pessoal nos domínios da segurança, saúde e ambiente. Adiante, evidenciaremos alguns dos riscos e métodos de proteção associados à produção, manipulação e consumo da NT. Para o estudo e descrição sumária destes domínios, elegemos dois documentos: um publicado nos EUA, em 2011, no âmbito da NNI; e outro intitulado *Nanosafety - Risk Governance of Manufactured Nanoparticles*, publicado^[25] sob a égide do Parlamento Europeu, em 2012.

Constatámos que, enquanto o primeiro documento (NNI) lida com os aspetos mais genéricos e conceptuais da gestão de risco - Segurança, Saúde e Ambiente, o segundo (STOA) trata com maior profundidade aspetos da maior importância. A produção, manipulação/exposição e utilização dos *Manufactured Particulate Nanomaterials* (MPN), bem como o estado da arte para as substâncias nanotoxicológicas, é refinada com nomenclatura apropriada, são relevadas as propriedades físico-químicas dos MPNs e hierarquizados os nanomateriais permitindo estabelecer métodos e criar cenários para avaliação da toxicidade no ser humano.

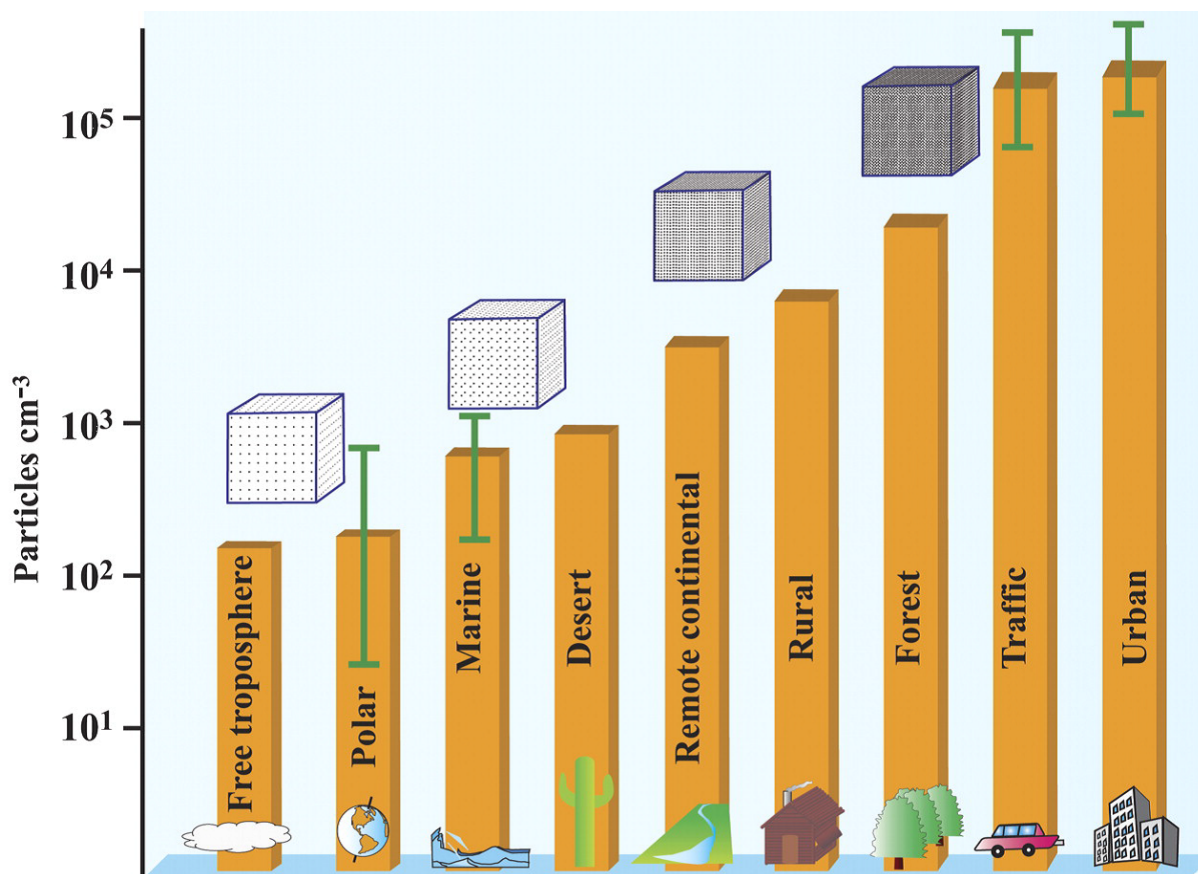


Figura 5: Concentração em nº de nanopartículas/cm³ nos ambientes atmosféricos

Fonte: EU, STOA, *Nanosafety - Risk Governance of MNPs* (taken from Buseck and Adachi 2008)

Como podemos observar da figura acima, apesar das nanopartículas existirem em maior quantidade nos ambientes urbanos, estão presentes em praticamente todos os lugares.

A preocupação com as novas nanopartículas (produzidas pela ciência e indústria em condições especiais) resulta das substâncias/materiais que as compõem. Estes passam por processos de transformação e agregação para dar origem ao produto final com destino ao mercado. A tabela seguinte é representativa desta realidade.

Nanomaterials	Nanointermediates	Nano-enabled Products
<i>Nanoscale structures in unprocessed forms</i>	<i>Intermediate products with nanoscale features</i>	<i>Finished goods incorporating nanomaterials</i>
such as • Ceramic nanoparticles • Metal nanoparticles • Carbon nanotubes • Fullerenes • Nanostructured metals • Dendrimers • Nanowires • Nanoclay	such as • Catalysts • Coatings • Composites • Displays • Drug delivery • Membranes • Pigments • Product additives	such as • Batteries • Buildings • Car tyres • Nutraceuticals • Paints • Pharmaceuticals • Sunscreens • Textiles

Tabela 3: Áreas de mercado para as nanopartículas

Fonte: Nanomateriais potenciadores tecnológicos (EU, STOA 2012)

A aplicação da NT nos setores da indústria aeroespacial é relativamente recente^[26], mas de futuro muito promissor, com uma enorme variedade de nanodispositivos e materiais com potencial incorporação nesta atividade. Apresenta, no entanto, desafios consideráveis nos domínios da segurança, saúde e ambiente. Se, por um lado, a sua aplicação representa um fator multiplicador de capacidades, é também indispensável^[27] identificar e mitigar os riscos potenciais associados à utilização de substâncias e materiais à nanoescala. Para o efeito, tanto os EUA como os vários países membros da UE têm vindo a desenvolver, nos últimos anos, esforços consideráveis para gizar estratégias que permitem ultrapassar tais desafios. Os projetos mais recentes focalizaram-se na determinação da toxicidade de diferentes tipos de nanomateriais, com desenvolvimento de cenários de exposição humana, animal e ambiental.

Os efeitos da exposição às nanopartículas são ainda desconhecidos quando comparados com as substâncias convencionais.

Os riscos potenciais para a saúde e ambiente estão principalmente associados ao ciclo de produção, à transformação ou tratamento de resíduos e ações de alienação ou reciclagem.

A libertação de partículas pode ocorrer em resultado de uma utilização normal (abrasão) ou por acidente. Enquanto na indústria aeronáutica a maior preocupação está dirigida para as nanopartículas libertadas pelas aeronaves na atmosfera, com eventual contaminação da água ou dos solos, no caso do espaço está especialmente dirigida aos danos nos astronautas causados pelos longos períodos de exposição em espaços ultra-confinados. A figura seguinte é a representação gráfica duma antevisão alargada para aplicações da nanotecnologia nos domínios da atividade espacial dirigida para materiais, energia, eletrónica, sistemas apoio à vida no espaço e plataformas para investigação

científica...

A capacidade para proteger carece de maior conhecimento sobre a resposta humana. Para isso, estão a ser concebidos novos métodos para testar e avaliar a resposta às diferentes substâncias, ou o tipo de reação a uma mesma substância, modificando-lhe ^[28] parâmetros como a dimensão, textura ou superfície...

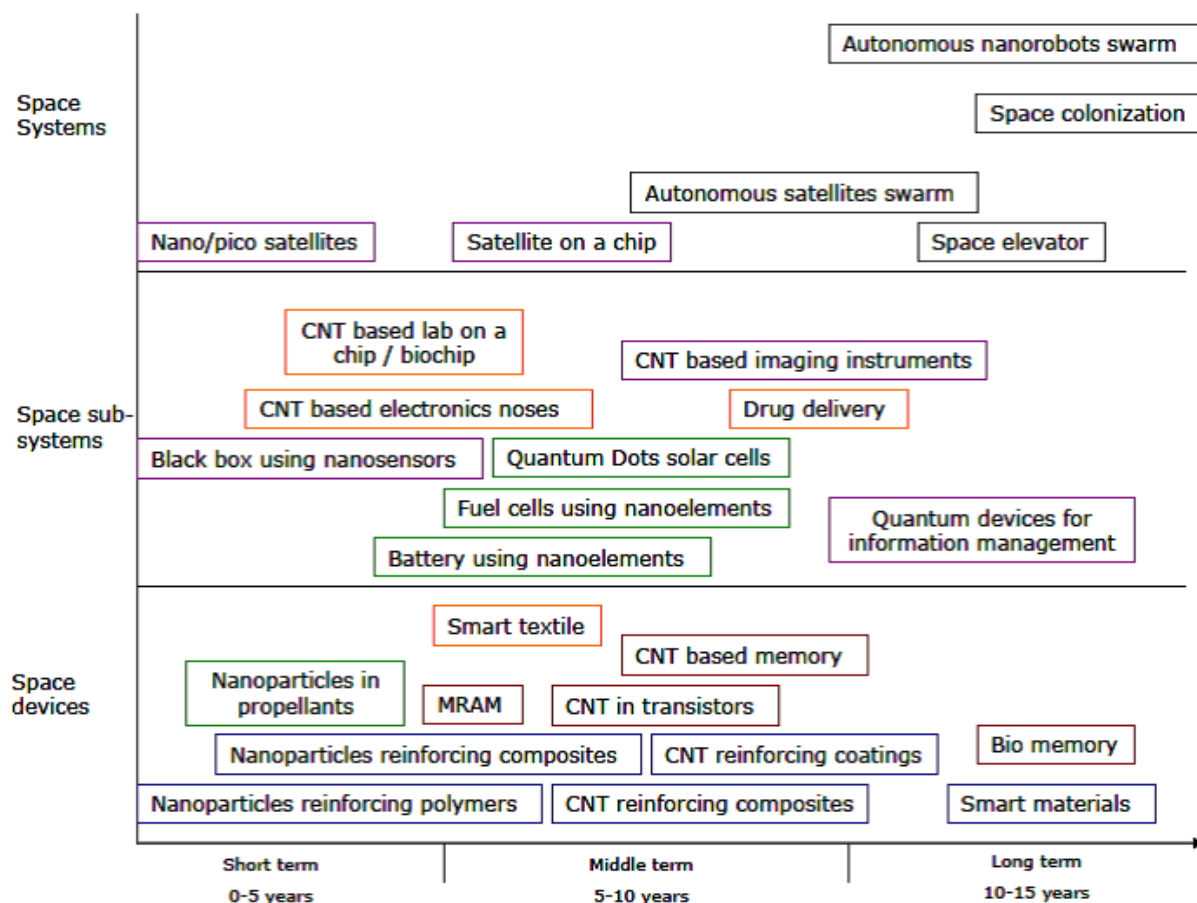


Figura 6: Previsão de mercado para as principais aplicações nos veículos espaciais

Fonte: *Nanoforum.org: European Nanotechnology Gateway* (p.79)

As preocupações e incertezas de 2007 foram dando lugar ao desenvolvimento de estratégias que, recentemente, se materializaram no documento designado *Key Concepts in the 2011 National Nanotechnology Initiative – Environmental Health and Safety Research Strategy*, desenvolvido nos EUA, do qual passamos reproduzir as ideias principais. Para a elaboração desta estratégia contribuíram várias agências e instituições, tanto no domínio público como privado.

Ao iniciar a leitura deste documento verificamos que os autores se preocuparam, desde logo, com aspetos de terminologia, clarificando o termo *engineered nanomaterials*^[29]. A parte fundamental desdobra-se depois em aspetos ligados à medição, exposição, saúde humana, ambiente, avaliação e gestão de risco, terminando com o desenvolvimento de um modelo informático para previsão dos efeitos nos contextos considerados.

As agências norte-americanas ligadas à NNI, com responsabilidades de investigação no domínio da Segurança Saúde e Ambiente, desenvolveram e adaptaram os tradicionais conceitos e ferramentas analíticas há muito usados nos domínios da Prevenção e Segurança - conhecidas por *risk assessment* - sendo o Risco definido pela equação: $Risk = Hazard \times Exposure$. Para as nanopartículas, os níveis de risco são equivalentes ao Perigo identificado num determinado material multiplicado pelo grau de exposição na pessoa/objeto ou ambiente afetado.

A figura 7 pretende contribuir para uma melhor interpretação desta situação, ilustrando situações concretas, com as três variáveis presentes em diferentes intensidades.

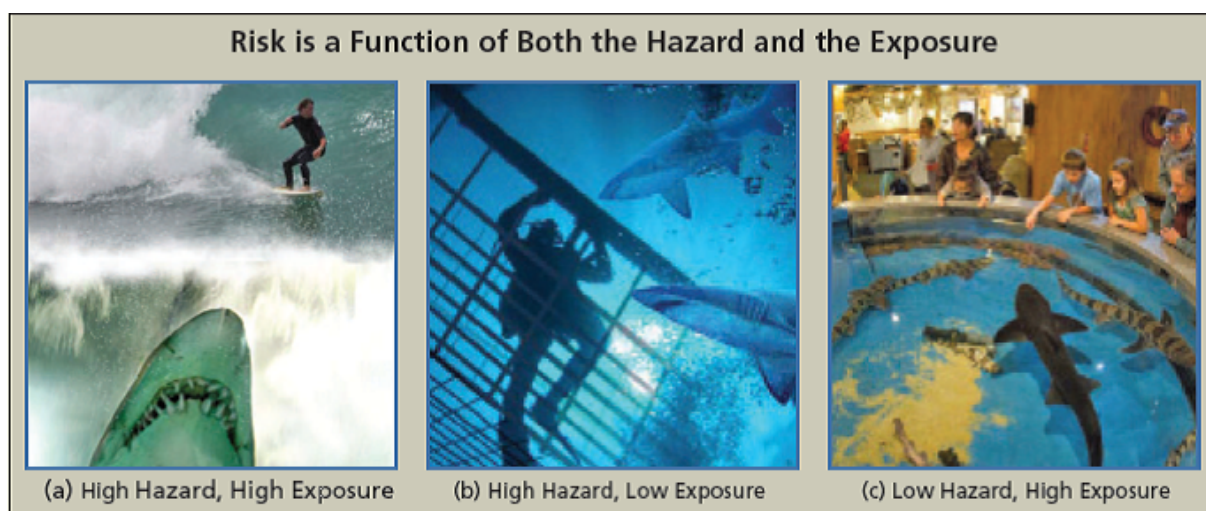


Figura 7: Risco em função do Perigo e Exposição

Fonte: US EPA

A Avaliação do Risco (*Risk Assessment*) é um dos métodos que os cientistas e Agências Federais utilizam normalmente para identificar os nanomateriais com maior potencial de exposição/perigo, focalizando aí os esforços de investigação. É um método que procura dar resposta às seguintes questões:

- Qual o potencial de perigosidade de um determinado material/substância na saúde humana ou no ambiente?

- Qual o período de exposição previsível e qual a possibilidade de que pessoas ou ambiente possam ser afetados?

- Que quantidade/tipo de nanomateriais são suscetíveis de provocar efeitos adversos?

As respostas são passos da avaliação de risco que permitem identificar perigos, avaliar graus de exposição, determinar a relação entre dose e resposta/efeito tanto nas pessoas como no ambiente. A Caracterização do Risco integra os passos anteriores permitindo uma visão integrada de todo o processo.

A avaliação do ciclo de vida do nanomaterial complementa esta metodologia garantindo oportunidades adicionais para a identificação e redução dos riscos e efeitos adversos da NT. O referido ciclo considera as fases de produção, exploração e despejo, ou reciclagem do produto. O percurso desde a extração até ao fim de vida está caracterizado na figura 8, enquanto o paradigma da avaliação de risco com os diversos fatores é esquematicamente representado na figura 9.

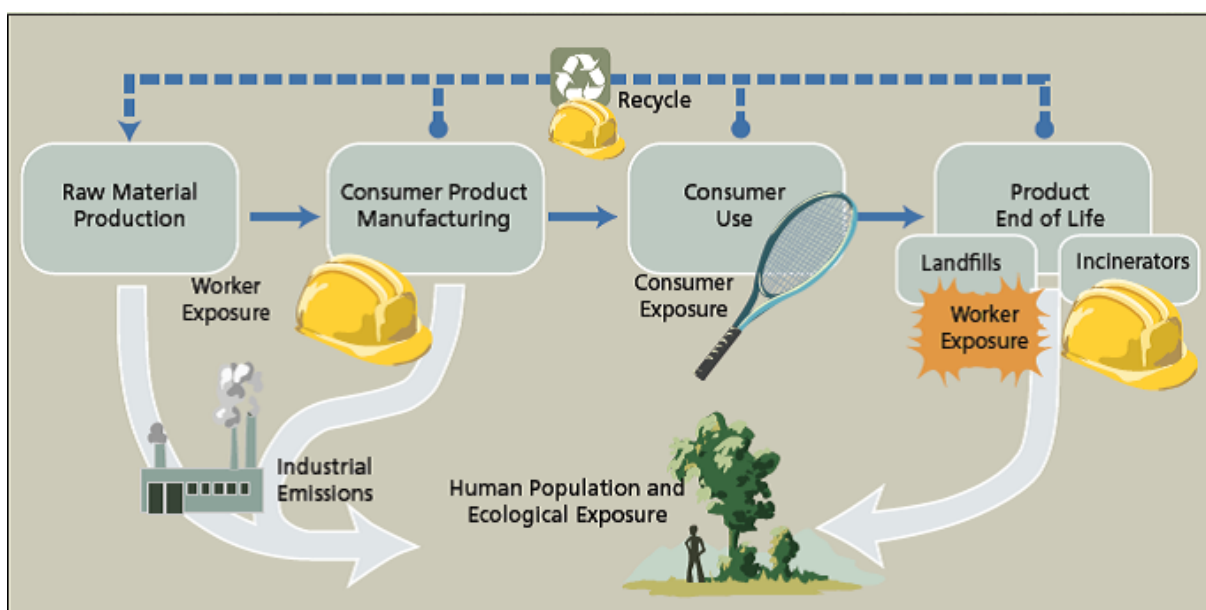


Figura 8 – Perspetiva do ciclo de vida da nanopartícula para a avaliação de risco

Fonte: EPA 100/807/001, February 2007, <http://epa.gov/osa>. NR Fuller of Sayo-Art provided revised image graphics

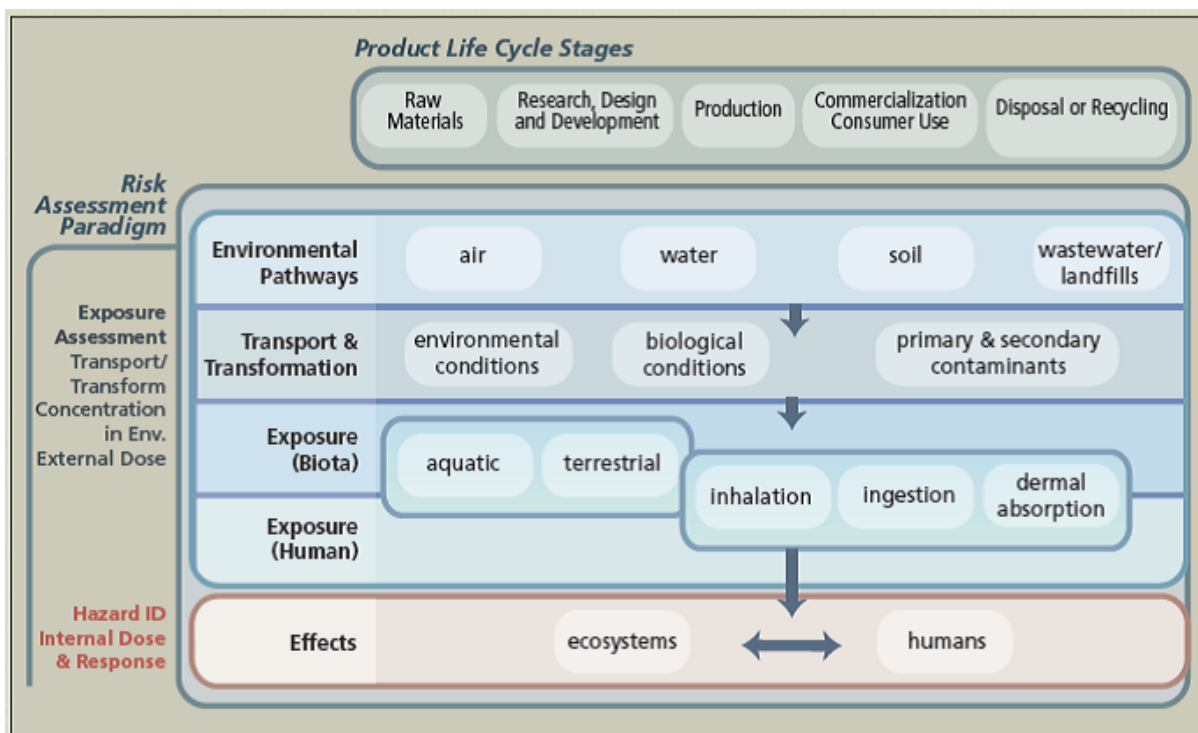


Figura 9 - Paradigma da avaliação de risco com integração de fatores ambientais, veículo, exposição e concentração assim como seus efeitos no homem ou ambiente

Fonte: NEHI and N.R. Fuller of Sayo-Art

A natureza dos desafios a superar para o exercício adequado da gestão e avaliação do risco depende do grau de precisão dos equipamentos de medida necessários para calcular a dose que origina determinada resposta. Estes instrumentos ainda terão que ser identificados, modificados ou desenvolvidos. As propriedades físicas e químicas dos nanomateriais, realismo das condições de exposição, determinação dos efeitos biológicos e das transformações sofridas em função do ciclo de vida dos NEP, bem como a forma como estes se vão libertando dos materiais em que se encontram, condicionam ainda mais o processo de gestão e avaliação do risco.

O desenvolvimento dos procedimentos e equipamentos de proteção adequados aos ambientes de produção ou utilização intensa depende dos resultados das investigações em curso ^[30]. Como já referimos, o desenvolvimento da nanometrologia é fundamental para o efeito.

8. Conclusão

A NT é um campo inter-multidisciplinar, onde Biólogos, Químicos, Físicos e Engenheiros

estão envolvidos no estudo de substâncias à nanoescala. Estamos perante oportunidades para novas descobertas científicas, visto que domínios do saber outrora separados – como a biologia, química, ciência e tecnologia dos materiais – passaram a estar integrados e tratados em conjunto. É um processo que lida com dimensões entre 1nm e 100nm sendo considerada um “novo” ramo da ciência com impacto muito significativo na sociedade e economia.

As expectativas iniciais têm vindo a ser confirmadas tanto nos setores académicos como nos industriais e governamentais.

A aceleração na propagação do conhecimento científico, transmutação na ordem mundial e convergência tecnológica farão da NT um fator de desenvolvimento incontornável na década em curso. À semelhança do que aconteceu com a eletricidade ou os computadores, ao transcender a mera manipulação de substâncias na nanoescala, influenciará quase todas as facetas da sociedade.

Os avultados investimentos na investigação e desenvolvimento na NT atestam as múltiplas oportunidades de negócio em praticamente todos os setores de atividade.

Estas dimensões geraram necessidades específicas para caracterizar, medir e controlar, dando origem à nanometrologia – área de conhecimento de extrema importância, por permitir a introdução de elementos de padronização essenciais à comparação, classificação e regulamentação internacional.

Portugal tem mantido um desempenho relativamente modesto neste setor, embora as universidades portuguesas tenham efetuado catorze pedidos de patentes e publicado 709 artigos.

Numa apreciação internacional, verifica-se que são as indústrias dos EUA e Japão as que se encontram claramente na vanguarda e onde os investimentos são mais avultados. Na UE, a Alemanha, Holanda e Suíça são os países que demonstram maior interesse.

Das aplicações de NT para a Segurança e Defesa, destacam-se as potencialidades de deteção, vigilância e controlo. Estas aplicações têm sido essencialmente focalizadas nas capacidades de deteção, proteção e identificação, aplicações que combinam elevados graus de sensibilidade e precisão, com baixo custo – atributos que permitem o desenvolvimento de redes de sensores autónomas. As potencialidades geradas pela aceleração no desenvolvimento e convergência das tecnologias amplificaram a necessidade do debate sobre múltiplos fatores; desde a proteção da privacidade, aos contornos da sua aplicação em ambientes de alta interatividade, bem como no tratamento e/ou eventual ilicitude na exploração de dados. A CE tem vindo a tomar várias iniciativas no sentido de alcançar compromissos e desenvolver um código de conduta para as questões da segurança, para o qual procurou aconselhamento junto da comunidade científica e tecnológica. Teme-se que os direitos e liberdades individuais, que tomamos por garantidos, possam sofrer erosões ajustando-se a um “novo mundo”.

A produção, manipulação/exposição e utilização dos MPN, bem como o estado da arte

para as substâncias nanotoxicológicas tem vindo a ser aperfeiçoado com nomenclatura apropriada. São relevadas as propriedades físico-químicas dos MPN e hierarquizados os nanomateriais, permitindo estabelecer métodos e criar cenários para avaliação da toxicidade no ser humano e no ambiente. As agências norte-americanas ligadas à NNI, com responsabilidades de investigação no domínio da Segurança Saúde e Ambiente, desenvolveram e adaptaram os tradicionais conceitos de *risk assessment*, procurando quantificar e identificar os nanomateriais suscetíveis de provocar efeitos adversos. A metodologia da avaliação de risco permite identificar perigos, avaliar graus de exposição, determinar a relação entre dose e resposta/efeito tanto nas pessoas como no ambiente. A avaliação do ciclo de vida do nanomaterial que complementa esta metodologia, engloba as fases de produção, exploração e despejo ou reciclagem do produto. Mas, para alcançar os padrões de segurança desejados, teremos que aguardar o resultado das investigações em curso para que sejam identificados, adaptados ou desenvolvidos novos instrumentos e concebidos procedimentos e equipamentos de proteção em conformidade com a os ambientes e utilização.

Não podemos deixar de referir que as capacidades da nanomedicina apontam um futuro auspicioso, com possibilidades para prevenir ou tratar doenças para as quais ainda não existe qualquer cura. Assistimos também ao debate sobre o “aperfeiçoamento humano” e prolongando a longevidade, possivelmente através da NT e convergência de tecnologias. Os próximos vinte anos serão cruciais para o desenvolvimento de novas abordagens, com potencial colossal se a sua eficácia vier entretanto a ser comprovada.

Terminamos com uma nota final, destinada a refrear entusiasmos excessivos: será um engano pensar que as transformações são para amanhã, no entanto o futuro continuará repleto de surpresas.

Bibliografia

Ancel B. Yarbrough, Col, USAF “The Impact of Nanotechnology Energetics on The Department of Defense by 2035”: Air War College – Air University, Fev 2010.

David Rickerby & Mark Morrison, “Report from the Workshop on Nanotechnologies for Environmental Remediation”, 16-17, Nanoforum.Org European Nanotechnology Gateway, JRC Ispra, Abr 2007.

Frank Simonis & Steven Shilthutzen, “Nanotechnology: innovation opportunities for tomorrow’s defence: Nanotechnology”, TNO report Science and Industry, 2008 www.futuretechnologycenter.eu/downloads.nanobook.pdf.

Ineke Malsch & Anne Mette Fruelund Andersen, “Ethical and Societal Aspects of Nanotechnology Enabled ICT and Security Technologies WP4”, ObservatoryNano, Annual Report 3, Apr 2011.

Ineke Malsch, "Human enhancement from different perspectives - Converging Technologies in Society", Nanoforum report, Jan 2007.

Ineke Malsch, Alexei Grinbaum/Vincent Bontem & Anne M. F. Anderson, "Communicating Nanoethics" Annual Report 4 on Ethical and Societal Aspects, ObservatoryNano WP4, Mar 2012.

Joana Eugénio e Vanessa Fatal, "Evolução da Nanotecnologia - Abordagem Nacional e Internacional", Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Jul 2010.

Kshitij Aditeya Singh, "Skills and Training Survey Nanotechnology"; Institute of Nanotechnology, Cranfield University, Set 2007.

Kshitij Aditeya Singh, "Analysis of M-level modules in interdisciplinary nanotechnology education" Institute of Nanotechnology, UK, May 2009.

Leandro Raniero & Elvira Fortunato, "As metas da nanotecnologia: Aplicações e Implicações": Centro de Investigação de Materiais Departamento de Ciência dos Materiais, Universidade Nova de Lisboa - FCT Janeiro 2005.

Masahiro Takemura, "Activities on Social Acceptance of Nanotechnology" Affiliated Fellow, Science & Technology Trends - Quarterly Review nº2, Jul 2008.

Nanotechnology Enabled ICT and Security Technologies "Addition to ObservatoryNano annual report 3, Set 2012.

Neelina Hermina Malsch, "Ethics and Nanotechnology; Responsible development of nanotechnology at global level in the 21st century" ©, 2011.

Patrick Lin & Fritz Allhoff, "Introduction: Nanotechnology, Society, and Ethics".

Robert William Davis, "Nanotechnology in Society: Stakeholder Analysis and Nanotechnology Stakeholders" Arizona State University, 2007.

Tiju Joseph & Mark Morrison, "Nanotechnology in Agriculture and Food", Nanoforum Report, European Nanotechnology Gateway, Institute of Nanotechnology, May 2006.

Trevor Keel, Richard Holliday & Tim Harper, "Gold for Good - Gold and nanotechnology in the age of innovation": Cientifica, World Gold Council, Jan 2010.

4th Nanoforum Report, "Public Perception of Nanotechnology: Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology", Nanoforum.org, Oct 2005.

8th Nanoforum Report, "Nanometrology", Nanoforum.org, European Nanotechnology Gateway, Jul 2006.

9th Nanoforum Report, "Nanotechnology in Aerospace", Nanoforum.org, Feb 2007.

10th Nanoforum Report, “Nanotechnology and Civil Security”, Jun 2007.

Nanoforum, “Nano-Converging Sciences and Technologies - Proceedings from the Nanotechnology and Security Workshop” in collaboration with the Unit of DG Research, and APRE (Agenzia per la Promozione della Ricerca Europea) Fev 2007.

Nanoforum.Org, European Nanotechnology Gateway, “Nanotechnology and its Implications for the Health of the EU Citizen”, Dez 2003.

National Science Foundation, “Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology - NSET Workshop Report” Edited by Mihail C. Roco and William Sims Bainbridge; Mar 2001.

NNI - “Environmental Health and Safety Research Strategy”, National Science and Technology Council Committee on Technology; Subcommittee on Nanoscale Science Engineering, and Technology, Oct 2011a.

NNI, “Key Concepts in the 2011 National Nanotechnology Initiative: Environmental, Health, and Safety Research Strategy” 2011b.

National Science and Technology Council: The National Nanotechnology Initiative Strategic Plan 2007; Committee on Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology, 2007.

^[1] — Através do *Fifth Framework Programme* (FP5).

^[2] — O momento mais marcante para o desenvolvimento da NT ocorreu em 2000, por ocasião do lançamento da *National Nanotechnology Initiative* (NNI), ação que reuniu amplo consenso nos vários quadrantes políticos norte-americanos. Esta iniciativa antecipou um futuro recheado de aplicações provenientes da NT, uma autêntica revolução tecnológica, com enormes benefícios na indústria e sociedade. (www.nano.gov/about-nni/what)

^[3] — O interesse pela NT é global, extravasando completamente os espaços políticos indicados.

^[4] — Maior é micro-escala, e menor é escala atômica.

^[5] — Autor da primeira dissertação dedicada a esta temática, Drexler preconizou a

superação dos obstáculos da microtecnologia convencional através da construção de “maquinaria” molecular capaz de posicionar grupos reativos com precisão atómica. (www.pnas.org/content/78/9/5275.abstract).

^[6] — Nobel da Física (1918-88), é considerado o pai da NT que afirmou “*There’s plenty of room at the bottom*”.

^[7] — John F. Sargent Jr., *Nanotechnology: A Policy Primer*, Congressional Research Service, Sept, 2011.

^[8] — Um nanómetro ainda é grande quando comparado com a escala atómica. Um átomo tem um diâmetro de cerca de 0,1 nm. O núcleo de um átomo é muito menor – cerca de 0,00001 nm.

^[9] — Uma nanopartícula está para uma bola de futebol como a bola de futebol está para o planeta terra.

^[10] — As propriedades e comportamento das partículas alteram-se significativamente nestas dimensões, quando comparadas com a mesma matéria numa escala maior. Um dos exemplos desta “transformação” é o ouro que, à nanoescala, assume a cor púrpura ou vermelha, reage de forma diferente com a luz (alteração das propriedades óticas) o que lhe confere extraordinárias capacidades no combate aos tumores sem danificar os tecidos saudáveis.

^[11] — Lançada em 2000, sobre a evolução e implicações da NT.

^[12] — Em Outubro de 2010 foi publicado no “*Nanotechnology - A Global Strategic Business Report*” uma análise ao mercado mundial (2006-2015) para aplicação da NT nas indústrias: Automóvel, Química, Defesa e Aeroespacial, Semicondutores e Eletrónica, Farmácia e Saúde, alimentação, etc.. Neste relatório são analisadas 1149 empresas, das quais 569 nos EUA e 333 na Europa. A Alemanha e Reino Unido são os países europeus com maior representação. Em Portugal identificamos apenas atividade empresarial neste domínio a partir do mapa do ObservatoryNANO. São a INOV e CUF (Lisboa), Sociedade Portuguesa de Inovação (Porto), Moldetipo II (Marinha Grande) e Texteis Penedo em Guimarães.

^[13] — Corrida armamentista ou rutura económica, comparável a uma Revolução Industrial amplificada. A fabricação molecular (*Molecular Manufacturing*) poderia originar severas consequências económicas, sociais e ambientais. (www.crnano.org/dangers.htm)

^[14] — Em 2012, a atribuição de fundos no âmbito da NNI continuava a ser maioritariamente (96,3%) realizada pelas seis agências originais: *National Science Foundation*, (NSF), *Department of Defence* (DOD), *Department of Energy* (DOE), *National Institute of Standards and Technology* (NIST), *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), e *National Institutes of Health* (NIH). Atualmente, a NNI é composta por 25 agências federais responsáveis pelas múltiplas atividades e dimensões da NT.

^[15] — Fórum multidisciplinar (www.nanoforum.org), criado pela União Europeia, para a divulgação da NT à comunidade científica, empresarial e sociedade em geral. Engloba um consórcio de organizações/instituições pertencentes ao Reino Unido, Alemanha, Holanda, Áustria, França, Bulgária, Turquia, Finlândia e Polónia.

^[16] — A Metrologia é a ciência dos pesos e medidas. A Nanometrologia é a aplicação desta ciência à nanoescala tendo por ordem de grandeza o nanometro (nm). Para além das tradicionais dimensões físicas, com erros de precisão inferiores a 1nm, outros parâmetros como a força, massa, propriedades elétricas e outras são apresentados pela Nanometrologia.

^[17] — Um bom exemplo para a caracterização da estrutura das partículas ocorre com as aplicações de nanomateriais aos setores da indústria automóvel, aeronáutica, saúde e energia, particularmente para as pequenas e médias empresas.

^[18] — O maior impacto é antecipado pela convergência acelerada entre os seguintes domínios da ciência e tecnologia: Nanotecnologia, Biotecnologia, Cognociência e Informática. O efeito da integração destas áreas, já designado por NanoBioCognoInfo, terá repercussões transformacionais de nível planetário.

^[19] — O Presidente da CE já solicitou a opinião do *European Group on Ethics in Science and Technology* (EGE) sobre as Implicações Éticas que poderão advir da ICT.

^[20] — <http://www.nato-pa.int/default.asp?SHORTCUT=677>.

^[21] — Os progressos alcançados no raios-X, infravermelhos e deteção therahertz terão aplicações para imagiologia. Os conhecimentos alcançados nas nanopartículas e *quantum-dots* serão utilizados como bio-detetores. Os nanotubos de carbono terão aplicações para deteção de substâncias químicas.

^[22] — De resposta passiva ou ativa, com aplicação nos equipamentos eletrónicos e de protecção individual, na indústria têxtil ou em infraestruturas.

^[23]
— Aproveitam a diferente refletividade do ouro, prata e platina (pág. 38) sendo designados de *Nanobarcodes*TM.

^[24]
— *Ethical and Societal Aspects of Nanotechnology Enabled ICT and Security Technologies. WP4, Ethical and Societal Aspects, Annual Report 3* - Ineke Malsch and Anne Mette Fruelund Andersen - 2011. (postbus@malsch.demon.nl)

^[25]
— Resultante de um projeto levado a cabo pela *European Technology Assessment Group* (ETAG), a coberto da *Science and Technology Options Assessment (STOA)*.

^[26]
— Na verdade, já conta com duas décadas. As primeiras aplicações tiveram lugar nos anos de 1990 em trens de aterragem.

^[27]
— À semelhança da energia nuclear, estas atividades caracterizam-se por possuir os mais elevados padrões de segurança e fiabilidade exigidos pela natureza, dispersão e escala dos danos resultantes de eventuais acidentes.

^[28]
— Uma pequena alteração na superfície pode modificar o comportamento bioquímico da substância com reflexos na capacidade de absorção, eventualmente com ganhos importantes para a segurança.

^[29]
— Materiais intencionalmente sintetizados ou manufacturados para terem, pelo menos, uma das dimensões externas entre 1-100nm e que exibem propriedades únicas resultantes dessas dimensões.

^[30]
— O *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), em estreita colaboração com a indústria e academia, tem acompanhado processos, identificado lacunas e produzido recomendações importantes sobre estas questões.