

# As Nanopartículas em Ambientes Ocupacionais

## Nanoparticles in Occupational Environmental

**Matos, Luísa<sup>a</sup>; Santos, Paula<sup>b</sup>; Barbosa, Fernando<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *Unidade de Ciência e Tecnologia Mineral – Laboratório do LNEG*  
*Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-956 S. Mamede de Infesta;*

[luisa.matos@lneg.pt](mailto:luisa.matos@lneg.pt)

<sup>b</sup> *A.Ramalhão – Consultoria, Gestão e Serviços, Lda,*

*Rua Senhora do Porto n.º 825, 4250-456 Porto;*

[paulasantos@aramalhao.com](mailto:paulasantos@aramalhao.com)

<sup>c</sup> *Cinfu – Centro de Formação Profissional da Indústria de Fundição,*

*Rua Delfim Ferreira n.º 800, 4100-199 Porto;*

[fernando.barbosa@cinfu.pt](mailto:fernando.barbosa@cinfu.pt)

### RESUMO

As novas tecnologias associadas a questões sociais, demográficas e económicas originam mudanças constantes nos ambientes ocupacionais, emergindo assim novos riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores. A exposição ocupacional a nanopartículas é um risco simultaneamente novo e com tendência para aumentar, o que o classifica como um risco emergente. As nanopartículas entram no corpo humano por diversas vias, desconhecendo-se ainda a total dimensão dos danos que podem vir a causar em termos de saúde ao trabalhador exposto. Embora a informação sobre a exposição dos trabalhadores e respectivos efeitos na saúde, seja muito limitada, devem ser desde já implementados os princípios básicos de prevenção. Os métodos tradicionais de amostragem de partículas podem ser usados para medir as nanopartículas, no entanto, estes métodos apresentam limitações e requerem uma interpretação cuidadosa. Encontra-se em franco desenvolvimento a investigação de técnicas de amostragem mais específicas e sensíveis que permitam avaliar a exposição ocupacional a nanopartículas. Pretende-se com este artigo baseado em pesquisa bibliográfica, alertar para este risco emergente, que se pode encontrar numa diversidade de actividades e para o qual os Técnicos de Segurança do Trabalho, entre outros profissionais, deverão estar sensibilizados. A avaliação e análise de riscos emergentes ocupacionais assumem um papel determinante na identificação precoce de medidas de prevenção eficientes. Conclui-se assim, por todas estas razões, que ainda há um longo caminho a percorrer para um perfeito e correcto conhecimento dos possíveis efeitos e principalmente no desenvolvimento de mecanismos que possam evitar o aparecimento de danos. Não é possível nesta fase do conhecimento (ou desconhecimento) avaliar o impacte deste risco emergente ao nível da sociedade, da produtividade e da sustentabilidade das próprias indústrias responsáveis pela produção de nanopartículas, ou cujo processo produtivo implica a libertação de partículas ultrafinas.

**Palavras-chave:** nanopartículas, partículas ultrafinas, riscos emergentes, efeitos na saúde, prevenção.

### ABSTRACT

The new technologies associated with social, demographic and economic changes originate constant changes in occupational environments, emerging new risks to health and safety workers. Occupational exposure to nanoparticles is a risk both new and likely to increase, which classifies it as an emerging risk. Nanoparticles enter the body through various channels, not knowing yet the full extent of the damage that may cause in terms of health care worker exposed to. Although information on the exposure of workers and their health effects, is very limited, the basic principles of prevention should be already implemented. Traditional methods of sampling particles can be used to measure nanoparticles. However, these methods have limitations and require careful interpretation. More specific and sensitive research sampling techniques are rapidly developing for assessing occupational exposure to nanoparticles. It is intended with this article, based on literature search, to alert to this emerging risk that can be found in a variety of activities, and for which the Technical Work Safety, and other professionals should be sensitized. The assessment and analysis of emerging occupational risks assume a role in early identification of effective prevention measures. It is concluded, for all these reasons, there is still a long way to go for a perfect and correct knowledge of the possible effects and especially the development of mechanisms that can prevent the onset of damage. It is not possible at this stage of knowledge (or ignorance) to evaluate the impact of this emerging risk at the company level, productivity and sustainability of the industries themselves responsible for the production of nanoparticles or whose production process involves the release of ultrafine particles.

**Keywords:** nanoparticles, ultrafines particles, emerging risks, health effects, prevention.

## 1. INTRODUÇÃO

A permanente evolução do conhecimento científico, apoiado num sistema de divulgação rápido e acessível a todos, leva a que haja uma maior percepção pública para os novos riscos particularmente, dos profissionais que lidam directa ou indirectamente com as áreas da Segurança e Saúde Ocupacionais.

As novas tecnologias associadas a questões sociais, demográficas, técnicas e económicas originam mudanças constantes nos ambientes ocupacionais, levando deste modo ao aparecimento de novos riscos, (físicos, químicos, biológicos e psicossociais) para a segurança e saúde dos trabalhadores.

De acordo com a Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho [1] um «risco de SST emergente» é qualquer risco simultaneamente novo e que está a aumentar.

Em que novo significa, por um lado, que não existia anteriormente, por outro, uma questão há muito existente que é agora considerada um risco devido à evolução do conhecimento científico ou à alteração da percepção pública.

O risco está a aumentar, se: - o número de perigos que conduzem ao risco estiver a aumentar; - se a probabilidade da exposição aos perigos estiver a aumentar; - ou então os efeitos dos perigos na saúde dos trabalhadores estiverem a agravar-se.

Face ao aumento e diversidade de aplicação industrial (cerca de 1015 aplicações) envolvendo cerca de 10 milhões de trabalhadores em todo o mundo, e ao insuficiente conhecimento dos riscos potenciais para a saúde e toxicidade, entre outros factores, as nanopartículas e as partículas ultrafinas surgem como um risco para a saúde humana e para o ambiente, liderando o Top Ten dos factores de riscos químicos emergentes [1]. Por outro lado têm numerosas vantagens para a saúde e qualidade de vida da população, pois são utilizadas na produção de medicamentos, produtos que contribuem para a segurança e enriquecimento dos alimentos, cosméticos, entre outros, gerando desta forma emprego e inovação [1].

## 2. DEFINIÇÃO DE NANO-OBJECTOS; NANOMATERIAIS E NANOTECNOLOGIAS

De acordo com a norma ISO/TS:2008 [2], é definido nano-objecto como material de uma, duas, ou três dimensões externas com uma gama de tamanho de, aproximadamente, 1 a 100 nm (nanómetros).

Existem 3 categorias de nano-objectos: nanotubos, nanofibras e nanopartículas. As nanopartículas e as partículas ultrafinas são partículas tridimensionais com diâmetro nominal inferior a 100 nm. Sendo as duas terminologias consideradas equivalentes, o termo nanopartícula é aplicado à partícula produzida intencionalmente e destinada a uso industrial, enquanto que o termo partículas ultrafinas se aplica às partículas que resultam de um processo de produção aparecendo como um subproduto ou resíduo. Muitos processos industriais produzem partículas que possuem dimensões de uma nanopartícula, mas efectivamente trata-se de partículas ultrafinas. Na Figura 1, apresentam-se imagens de materiais correntes que contêm partículas sub-micrométricas e com dimensões muito variadas, como é o caso de - partículas de toner (impressora laser) com uma granulometria base de alguns micrómetros, contendo partículas de óxido de ferro com cerca de 200nm e partículas à superfície com poucas dezenas de nm; - partículas de cinza de carvões com partículas (óxidos de silício,...) de dimensão também muito variada.

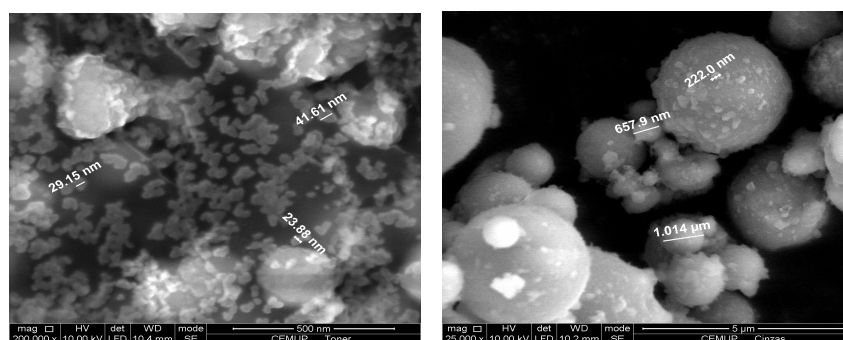


Figura 1 – Exemplos de partículas nanopartículas/ultrafinas, respectivamente de toner e cinzas<sup>1</sup>.

As nanopartículas podem apresentar-se em diversas formas, podendo ser utilizadas como tal ou para produzir novos materiais, denominados nanomateriais. Os nanomateriais são materiais constituídos totalmente, ou parcialmente, por nano-objectos que lhes conferem propriedades melhoradas e específicas da dimensão nanométrica. [3].

<sup>1</sup>Fonte: CEMUP, 2010

O termo nanotecnologia refere-se à utilização de tecnologias que envolvem a criação e manipulação de materiais para o desenvolvimento de novos materiais e produtos de tamanho nanométrico de modo a explorar novas características muitas vezes mais eficientes.

As nanotecnologias manipulam substâncias em escala nanométrica, baseiam-se numa modificação das propriedades físicas dessas substâncias [4] e têm aplicações em muitas áreas, de modo que se prevê que daqui até 2020, aproximadamente, 20% de todos os produtos fabricados no mundo usarão as nanotecnologias. Estamos perante uma tecnologia emergente em que os riscos associados ao fabrico e à utilização de nanomateriais são ainda pouco conhecidos. Desconhecendo-se o impacto destes novos materiais, sobre a saúde e o ambiente, é provável, que em qualquer caso, os trabalhadores estejam entre os primeiros a sofrer exposição [4]. Na Figura 2, encontra-se a relação entre o diâmetro das partículas e a zona do organismo humano onde se depositam.

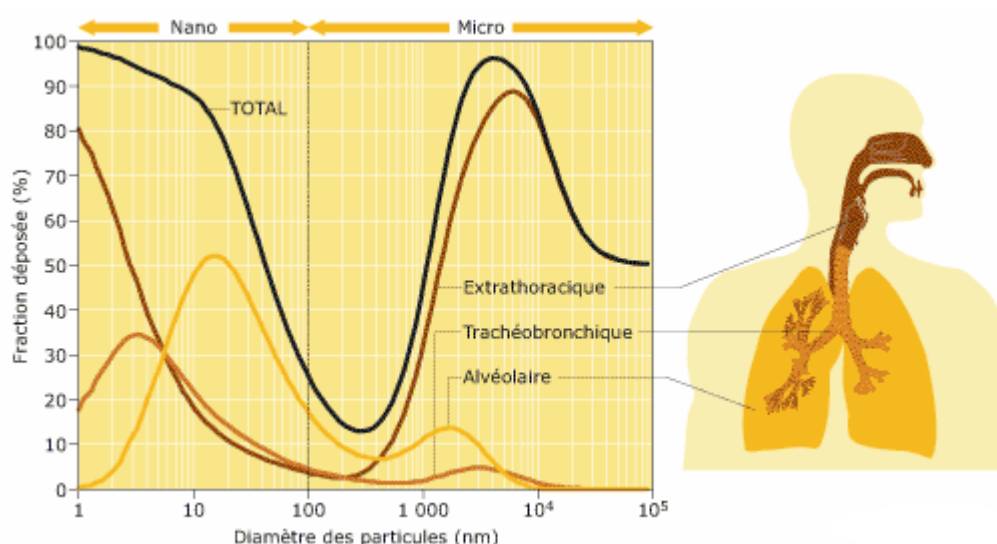


Figura 2 – Distribuição por diâmetro das partículas [3]

### 3. APLICAÇÃO DAS NANOTECNOLOGIAS E FONTES DE EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL

As nanotecnologias permitem inovar de forma surpreendente em várias áreas/domínios, tais como, a saúde, a produção de energia não poluente, indústria agro-alimentar, comunicação e informação, entre outros, apresentando-se alguns exemplos na Tabela 1.

Tabela 1 – Sectores de aplicação das nanotecnologias.

Sector de Actividade	Alguns exemplos de aplicação actual e potencial
Automóvel, Aeronáutica e espacial	Materiais reforçados e mais leves; Pinturas exteriores com efeitos de cor mais brilhantes, anti-corrosivas, anti-riscos e anti-sujidade; detectores de gelo nas asas dos aviões; aditivos para diesel permitindo uma combustão mais eficiente; pneumáticos mais duradouros e recicláveis
Químico e construção	Pigmentos, pós cerâmicos, inibidores de corrosão; catalisadores multifuncionais; vidros anti-riscos e auto-laváveis; Têxteis e revestimentos anti-bacterianos e ultra-resistentes, isolamentos térmicos
Energético	Células fotovoltaicas de nova geração; novos tipos de baterias; janelas inteligentes; materiais isolantes mais eficazes; fotossíntese artificial; Armazenamento de hidrogénio
Saúde e cuidados médicos	Aparelhos e meio diagnóstico com nanodeteção; terapia genética; análise de ADN, nano-implantes e próteses
Agroalimentar	Nanocápsulas de ómega 3 (adicionadas ao pão)
Cosmética	Crems solares transparentes, pastas dentífricas mais abrasivas, maquilhagem mais duradoura

#### 3.1. Fontes de exposição profissional

Podem-se distinguir 2 tipos de exposição profissional:

- A exposição relacionada a processos cuja finalidade não é a produção de nano-objects, mas cujo processo implica a libertação de partículas ultrafinas;
- A exposição relacionada com a produção e utilização intencional de nano-objects e nanomateriais.

Relativamente à exposição a partículas ultrafinas, esta pode ocorrer em vários cenários e contextos sendo um deles o industrial, como se ilustra na tabela seguinte.

Tabela 2 – Processo e fontes potenciais de emissão de partículas ultrafinas

<b>Tipo de processos</b>	<b>Exemplos de fontes de emissão</b>
Térmicos	Fundição de metais (aço, alumínio, ferro, etc.); Metalização e galvanização; Soldadura de metais; Corte de metais (ex: laser); Tratamento térmico de superfícies; Aplicação de resinas e ceras.
Mecânicos	Maquinação; Lixagem; Perfuração; Polimento.
Combustão	Emissões de motores diesel ou a gás; Centrais de incineração, térmicas e crematórios; Fumeiros; Aquecimento a gás.

A natureza das nanopartículas, os métodos, as quantidades utilizadas, a duração, a frequência das tarefas, a capacidade dos produtos permanecerem no ar ou nas superfícies de trabalho e os meios de protecção existentes, constituem os principais parâmetros que influenciam o grau de exposição.

Algumas tarefas, etapas de processos produtivos ou operações produtivas que podem originar exposição profissional a nanopartículas são indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Exemplos de situações de exposição profissional

<b>Tarefas/Etapas de processos:</b>
Transferência, amostragem, pesagem, adição e incorporação numa matriz mineral ou orgânica de nanopartículas (formação de aerossóis)
Transvasamento, agitação, mistura e secagem numa suspensão líquida contendo nanopartículas (formação de gotículas)
Mudança de óleo de reactores
Maquinação de nanocompositos: corte, polimento, perfuração, lixagem, etc.
Acondicionamento, embalagem, armazenamento e transporte de produtos
Limpeza de equipamentos e de locais
Reparação e manutenção de equipamentos e locais, por exemplo: substituição de filtros usados
Recolha, acondicionamento, conservação e transporte de resíduos
Incidentes, por exemplo: fugas

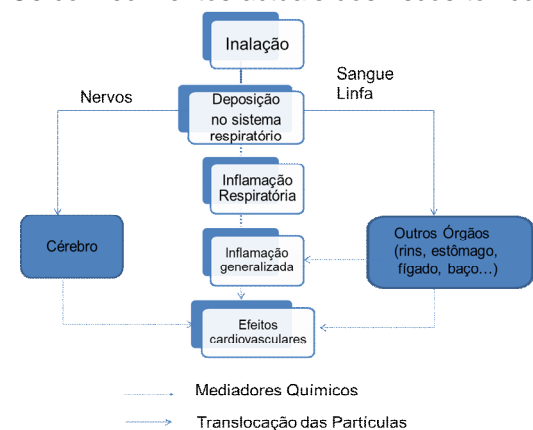
#### 4. VIAS DE EXPOSIÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE

Os riscos de exposição a nano-objects e a nanomateriais estão ligados às três vias de exposição potencial: inalação, ingestão e contacto dérmico. O aparelho respiratório constitui a via principal de penetração de nano-objects no organismo humano, sendo essa via a mais importante nos indivíduos que praticam uma actividade física ou que apresentam a função pulmonar alterada ou deficiente. Os nano-objects uma vez inalados, podem ser libertados ou depositados em diferentes regiões do sistema respiratório. Essa deposição, não é uniforme ao longo do sistema respiratório, varia em função do diâmetro, do grau de agregação e aglomeração e do comportamento no ar dos nano-objects, tal como é reportado na Figura 2. Os nano-objects podem igualmente ser encontrados no sistema gastrointestinal, após terem sido ingeridos ou após deglutição depois de inalados. A penetração por contacto dérmico dos nano-objects é uma hipótese ainda em estudo. As propriedades superficiais e de elasticidade dos nano-objects, bem como o sebo natural da pele, o suor, o tipo de poros, as irritações da pele, são no entanto, factores que podem favorecer a sua penetração percutânea.

Actualmente, as pesquisas realizadas sobre os efeitos na saúde e segurança dos nano-objects ainda são insuficientes. Estes, podem ter propriedades muito diferentes, relativamente ao mesmo material em escala macro, implicando uma nova abordagem na avaliação de riscos.

Vários estudos indicam que, uma vez no corpo, os nano-objects podem-se translocar para órgãos ou tecidos distantes da zona de entrada. Como possuem longa duração, são biopersistentes e bioacumulativos no organismo, em especial em órgãos como os pulmões, o cérebro e o fígado, como pode ser apreciado na Figura 3. A base de toxicidade não está totalmente estabelecida, mas parece ser primariamente expressa através de uma capacidade de causar a inflamação.

Os conhecimentos actuais dos riscos toxicológicos e efeitos na saúde provêm de estudos, geralmente de



alcance limitado, uma vez que são realizados em células ou animais e conseqüentemente de difícil extrapolação para o Homem. No entanto, já se encontra demonstrado que as partículas ultrafinas, relacionadas com a poluição atmosférica, emitidas por unidades industriais e motores diesel, apresentam características tóxicas susceptíveis de provocar efeitos nefastos na saúde humana, tais como, patologias respiratórias (asma, bronquite, rinite) e cardiovasculares.

A translocação de nanopartículas no organismo humano poderá desempenhar um papel importante no desenvolvimento de determinadas patologias cardiovasculares, respiratórias e do sistema nervoso central, como se encontra expresso na Figura 3.

Figura 3 - Efeitos potenciais sobre o organismo [3]

## 5. METODOLOGIAS DE RECOLHA E ANÁLISE

Para a determinação da exposição profissional a nanopartículas, podem ser utilizados métodos de amostragem tradicionais na HST, como a colocação de amostradores estáticos nas áreas de trabalho, a utilização de bombas de amostragem pessoal, com filtros colocados na zona de respiração do trabalhador, ou a utilização de equipamentos de leitura em tempo real, que podem ser estáticos ou pessoais. Os métodos pessoais são mais representativos da exposição do trabalhador, enquanto os restantes métodos são mais úteis no desenvolvimento de melhorias nas práticas de trabalho e nas medidas de prevenção [5].

Na escolha do método de amostragem mais adequado, devem ser consideradas as respostas dos equipamentos no que diz respeito aos intervalos de medição, precisão e incerteza. Para que exista controlo da garantia de sucesso na utilização do método escolhido é vital que sejam efectuadas amostragens antes do início da produção ou manuseamento dos nanomateriais, pois permitirá obter leituras de fundo do ambiente de trabalho, para comparar com as leituras obtidas durante a produção.

Os parâmetros que se podem determinar nas nanopartículas, com os métodos existentes, são: Tamanho, Massa, Área de superfície, Concentração, Composição, e Química da superfície. Porém, das técnicas existentes poucas podem ser utilizadas prontamente em amostragens de rotina [5], nomeadamente pela falta de portabilidade de muitos equipamentos, elevado custo ou pela seu limite de detecção. O tamanho, conforme já focado anteriormente, é um parâmetro fulcral, pois a toxicidade da nanopartícula varia grandemente com a sua dimensão; a sua reactividade aumenta nas menores dimensões, fruto de alterações na sua estrutura cristalina; podendo mesmo existir nanopartículas minúsculas capazes de penetrar no interior das células.

Os estudos existentes sugerem que devem ser utilizados amostradores de partículas respiráveis, devido à maior probabilidade de deposição de nanopartículas nos alvéolos pulmonares. Estes amostradores permitem obter resultados da massa de partículas (a maioria dos VLE é expressa em concentração), mas não fornecem dados do número, tamanho ou área de superfície das nanopartículas. Actualmente, não se conhecem amostradores pessoais que permitam obter leituras de todos estes dados [5]. A massa de nanopartículas pode ser pequena, mas representar grande concentração em termos de área de superfície e ainda maior em termos de número de partículas. O amostrador mais adequado será o que permitir medir o parâmetro biologicamente mais nocivo, não sendo ainda claro, se esse parâmetro é a massa, o número ou a área de superfície. Existem alguns métodos indirectos para estimar a área de superfície, o número e a concentração de partículas inferiores a 100 nm. Por vezes, a utilização de dois equipamentos com tecnologias diferentes em simultâneo, permite obter os dados desejados por cruzamento de resultados; por exemplo um CPC (Condensation Particle Counter), que conta partículas com diâmetro superior a 10 nm, por condensação (com isopropanol) e de um OPC (Optical Particle Counter), que conta partículas com mais de 300 nm, por feixe laser. O CPC revela-se limitado para não contar partículas superiores a 1 µm. Se detectarmos a existência de elevadas concentrações de nano-objects relativamente às leituras de fundo, poderemos recolher amostras em filtros, com amostradores pessoais, para determinar a concentração em massa e analisar as partículas recorrendo a microscopia electrónica de varrimento (SEM) ou a microscopia electrónica de transmissão (TEM). Esta tecnologia permite estimar a distribuição de tamanhos de partículas e se estiver associada a EDS (Energy Dispersive X-ray Analyser), permite determinar a composição elementar do nanomaterial [5] [6] [7].

## 6. MEDIDAS DE PREVENÇÃO

No meio industrial, o fenómeno da perturbação das nanopartículas e partículas ultrafinas depositadas, fruto de operações de limpeza e de manutenção, é um factor típico de dispersão e inalação das mesmas.

Considerando que a informação sobre os riscos para a saúde é muito limitada, é prudente adoptarem-se medidas que permitam minimizar as exposições dos trabalhadores, tal como se encontra previsto na Directiva Quadro, devendo ser implementadas acções com base nos princípios gerais de prevenção.

Para a grande maioria dos processos e tarefas, o controlo da exposição a nanopartículas e partículas ultrafinas dispersas no ar pode ser alcançado através de sistemas de - encapsulamento da fonte; - ventilação exaustora localizada e adequadamente dimensionada para que não ocorra superaspiração; - adopção de boas práticas de trabalho que evitem a dispersão das partículas; - protecção individual (máscara com vedação e filtro adequados, luvas, óculos, fato, tampões de ouvido) que pode ser necessário complementar com medidas de controlo de engenharia e/ou administrativas (rotatividade, por ex.); - vigilância da saúde (embora ainda com muito desconhecimento de como o fazer); - analisar a possibilidade de substituir o produto por outro menos perigoso; - manusear apenas a quantidade indispensável ao processo; - as operações de limpeza devem ser efectuadas por aspiração com filtros adequados ao tamanho das partículas presentes ou por meios líquidos, ( a utilização de pistolas de ar comprimido para limpeza não é de todo adequada) [5].

Todos estes princípios devem estar incluídos e articulados num programa de controlo de riscos, bem como, as medidas de informação e formação aos trabalhadores, destacando-se a informação que lhes chega via rotulagem e fichas de dados de segurança.

## 7. CONCLUSÕES

A nanotecnologia constitui uma revolução tecnológica, que, provavelmente, se irá impor mais rapidamente do que qualquer outra revolução, face ao seu carácter altamente disruptivo e uma vez que, pode ser aplicada a qualquer ramo de actividade.

O alerta é importante, pois embora o crescimento da nanotecnologia seja exponencial, no que diz respeito à pesquisa de medidas de prevenção e conhecimento do risco a dinâmica é muito lenta. Muitos serão os trabalhadores expostos a nanopartículas, quer, seja porque são trabalhadores de empresas de nanotecnologia, ou trabalhadores de actividades que implicam a libertação de partículas ultrafinas.

Ainda há poucos estudos sobre os impactes das nanopartículas na Saúde e no meio Ambiente e consequentemente na Segurança e Saúde no trabalho.

Há muito a fazer para um perfeito e correcto conhecimento dos possíveis efeitos e principalmente no desenvolvimento de mecanismos que possam evitar o aparecimento de possíveis danos.

Não é possível nesta fase do conhecimento (ou desconhecimento) avaliar o impacte deste risco emergente ao nível da sociedade, da produtividade e da sustentabilidade das próprias indústrias responsáveis pela produção de nanopartículas, ou cujo processo produtivo implica a libertação de partículas ultrafinas.

Os riscos emergentes oferecem um desafio não só às tecnologias tradicionais de avaliação de riscos na vertente ocupacional, mas também aos equipamentos existentes. Deste modo, é importante gerar novas metodologias de medição e avaliação, incorporando nestas, critérios inovadores como sejam o tamanho, a área de superfície, entre outros.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. (2008). Expert forecast on emerging chemical risks related to occupational safety and health. Bélgica.
- [2] ISO/TS:2008
- [3] INRS. (2008). *Les nanomatériaux*. INRS.
- [4] OIT - Organização Internacional do Trabalho. (2010). *Riscos emergentes e novas formas de prevenção num mundo em mudança*.
- [5] Approaches to Safe Nanotechnology – NIOSH (2009)
- [6] SCENIHR/02/05 (2006)
- [7] SKC Inc. (2011)