



## Nanotecnologia e água no Brasil

Sandra Maria Batista Silveira\* e Guillermo Foladori

<sup>1</sup>Departamento de Serviço Social, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária, 50670-901, Recife, Pernambuco, Brasil. <sup>2</sup>Unidad Académica en Estudios del Desarrollo, Universidad Autónoma de Zacateca, Zacatecas, México. \*Autor para correspondência. E-mail: sanmaria@hotmail.com

**RESUMO.** O texto analisa a situação da pesquisa e do desenvolvimento das nanotecnologias para tratamento de água (nano-água), com os propósitos de potabilizar, dessalinizar e/ou despoluir cursos de água no Brasil. Com esses objetivos, revisam-se as informações fornecidas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI - sobre pesquisas que receberam financiamento público no período de 2004 a 2012 e os grupos de pesquisa vinculados ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Conclui-se que, no total de pesquisas desenvolvidas sobre nano-água no Brasil, a maioria diz respeito à remediação ambiental, o que indica as potencialidades no sentido da despoluição de importantes corpos de água. E, de fato, há suficiente infraestrutura e recursos humanos para a execução de uma política pública, direcionada a solucionar problemas de água para as populações com dificuldades no acesso, a partir da aplicação de nanotecnologias específicas. Porém não existe uma política pública sólida de acompanhamento das novas tecnologias com estudos dos potenciais riscos associados, o que levanta incertezas sobre a sustentabilidade da aplicação das nanotecnologias.

**Palavras-chave:** nanociências, pesquisa e desenvolvimento e remediação de água.

### Nanotechnology and water in Brazil

**ABSTRACT.** We analyzed the stage of nanotechnology research and development applied to water treatment (nano-water), aiming to make water potable, desalting, and decontamination of water courses in Brazil. We review data provided by the Ministry of Science, Technology and Innovation on research with public funding from 2004 to 2012, and data from the research groups listed by the National Council for Scientific and Technological Development. Most of the research on nano-water refers to water remediation, which shows the potentiality for decontamination of important water courses, a significant Brazilian health problem. There is indeed enough infrastructure and human resources for the implementation of a public policy aimed to solve water problems for people with difficulties in access, from the application of specific nanotechnologies. Nevertheless, there is a lack of a solid public policy accompanying the development of new technologies with studies on the potential risks associated, which raises uncertainties on the sustainability of applying nanotechnologies.

**Keywords:** nanoscience, research and development, water remediation.

### Introdução

Um dos maiores riscos sociais do mundo é a falta de água potável para milhares de pessoas. Mesmo em países como o Brasil, que tem enormes reservas de água potável, esta não é igualmente distribuída nas grandes áreas geográficas e para todos os setores sociais. Na região Nordeste, especialmente nas áreas de clima semiárido, há elevado déficit hídrico que produz escassez de água potável para consumo e para a produção de alimentos e que atinge mais acentuadamente os pobres que vivem nas áreas rurais.

O acesso à água constitui um problema socioeconômico, porque, mesmo em áreas onde o recurso não é escasso, os setores mais pobres da

população não têm acesso, ou têm acesso restrito; além de que, em muitos casos, a escassez de água está relacionada ao uso excessivo e ao controle privado de reservas por parte do setor agrícola ou industrial. O acesso à água é um problema político-administrativo, dados o desperdício e os vazamentos em instalações de distribuição e abastecimento. Mas o acesso à água é também um problema técnico, já que os sistemas de armazenamento, tratamento e distribuição dependem de procedimentos técnicos que podem ser crescentemente melhorados.

Este artigo revisa a informação a respeito das potencialidades das nanotecnologias e a investigação que está se desenvolvendo no país com os propósitos de potabilizar, dessalinizar e/ou despoluir cursos de água.

Primeiro se revisa a situação da água no mundo e no Brasil, incluindo as políticas de água no Brasil. Em seguida se resumem as aplicações de nanotecnologia à água e analisam-se a pesquisa e o desenvolvimento desse tema no Brasil, principalmente a partir de informações fornecidas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, em relação a projetos de investigação com financiamento público e grupos de pesquisa no assunto.

Conclui-se que, apesar de as investigações em nanotecnologia e água serem marginais no total de pesquisas sobre nanotecnologia no Brasil, há suficiente infraestrutura e recursos humanos para a execução de uma política pública direcionada a solucionar problemas de água para as populações com dificuldades no acesso, a partir da aplicação de nanotecnologias específicas. Porém há falta de orientações públicas em relação aos potenciais riscos das aplicações de nanotecnologia para o tratamento de água, o que suscita a dúvida sobre a viabilidade técnica e principalmente sobre a sustentabilidade em termos sociais e de saúde pública.

#### **Situação da água no mundo e no Brasil**

A população mundial alcançou o 'Objetivo de Desenvolvimento do Milênio (ODM)' referente à água em 2010, reduzindo pela metade o número de pessoas que não consome água de uma fonte melhorada, de acordo com o documento *Progress on drinking water and sanitation* (WHO & Unicef, 2015). O documento também afirma que a partir do ano de 1990 2,6 milhões de pessoas passaram a ter acesso à água, utilizando fontes seguras e 2,1 milhões de pessoas tiveram acesso a instalações de saneamento básico.

Apesar dos avanços anunciados, ainda há 663 milhões de pessoas que não têm acesso sustentável à água e 2,4 bilhões que não possuem instalações sanitárias, conforme dados da Unicef. Um dado alarmante é que a população mais vulnerável no que diz respeito ao acesso à água e ao saneamento vive em áreas rurais, o que significa que, de acordo com as estatísticas apontadas no documento, oito em cada dez pessoas que ainda não têm acesso suficiente à água potável, sete em cada dez pessoas que não possuem instalações sanitárias melhoradas e nove em cada dez pessoas que defecam ao ar livre vivem nas áreas rurais de seus países (WHO & Unicef, 2015).

Além da evidência de que a água e o saneamento faltam principalmente para as populações rurais do mundo, a pobreza também caracteriza essa população desabastecida. A esse respeito, o Relatório do Desenvolvimento Humano: *Água para lá da*

*escassez: poder, pobreza e crise mundial da água de 2006* (PNUD, 2006) menciona que duas em cada três pessoas que não têm acesso à água sobrevivem com menos de dois dólares por dia, demonstrando que a água e os problemas a ela relacionados atingem desproporcionalmente os pobres e expressam as desigualdades históricas na distribuição e nos usos da água entre os países e no interior destes (PNUD, 2006). O relatório também aponta que os países com rendimento elevado utilizam 40% de toda a disponibilidade hídrica em atividades agrícolas, 40% em atividades industriais e 20% no abastecimento doméstico. Já nos países em desenvolvimento a agricultura consome em média 80% das águas disponíveis, a indústria, 10% e o abastecimento doméstico, 10%. O documento também afirma que as taxas de cobertura de água canalizada alcançam praticamente 85% nos lares dos 20% mais ricos do mundo e atingem apenas 25% dos 20% mais pobres (PNUD, 2006).

Além de afetar principalmente os pobres, as desigualdades no abastecimento castigam mais acentuadamente mulheres e meninas, especialmente das regiões rurais pobres dos países periféricos. Tradicionalmente, as mulheres e meninas são as responsáveis pelo abastecimento de água para as famílias e, por investirem mais esforço e tempo nessa atividade, comprometem a saúde e as possibilidades de estudar e trabalhar (PNUD, 2006).

Os custos de não priorizar a água e o saneamento básico na agenda internacional são muito altos. O Conselho Colaborativo de Abastecimento de Água e Saneamento (WSSCC) afirma que a África consome 12% do seu orçamento da saúde em tratamento da diarreia, e esta enfermidade, de acordo com o Programa de Monitorização Conjunta para o Abastecimento de Água Potável e Saneamento da Organização Mundial de Saúde (OMS) e Unicef, é a principal causa de doenças e mortes no mundo inteiro, sendo que 88% das mortes diarreicas são pela falta de instalações de saneamento e água segura para o consumo e para a higiene pessoal (UN WATER, 2014). Esses dados são particularmente graves quando se considera a mortalidade infantil em decorrência das doenças provocadas pela água. O Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água de 2012 afirma que, a cada 20 s, morre uma criança por falta de saneamento e ingestão de água não tratada (UN WATER, 2014).

De acordo com o 'Programa Mundial de Avaliação da Água', liderado pela UNESCO, estima-se que 70% dos resíduos industriais dos países em desenvolvimento são despejados sem tratamento nos

leitos de águas doces, aumentando o nível de poluição das águas. Ainda conforme o programa, parte desses resíduos é despejada por indústrias poluentes de países centrais que têm se instalado nos países periféricos (UN WATER, 2014). Por causa dessa migração, a maioria dessas águas (em torno de 90%) flui sem tratamento em rios, lagos e zonas costeiras e tem ameaçado a vida, a saúde e a segurança alimentar de milhares de pessoas, particularmente da população mais pobre e vulnerável (UN WATER, 2014).

A esse respeito, a América Latina e o Caribe são um caso emblemático. A região tem a maior cobertura de acesso à água potável de todas as nações em desenvolvimento (ANA, 2015a), no entanto ainda há 100 milhões de pessoas na América Latina que não têm acesso a sistemas adequados de saneamento e 70 milhões de pessoas que não dispõem de um abastecimento hídrico seguro, de acordo com Léo Heller, relator especial sobre o direito humano à água potável e ao saneamento. Para o relator, é fato que a região cumpriu os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio, inclusive antes do prazo, no entanto esses avanços não são acessados por todos (ONUBR, 2016).

Uma evidência dessa desigualdade é a proliferação de doenças transmitidas por mosquitos e água contaminada, tais como o zika vírus, a chikungunya, a febre amarela e a dengue. Heller ainda afirma que há uma relação entre a deficiência dos sistemas de saneamento e o surto desses vírus, particularmente nos países latino-americanos. Leilani Farha, especialista em direitos humanos sobre moradia adequada, coincide com Heller e acrescenta que os sistemas inadequados de saneamento resultam em água estagnada e a proliferação do mosquito. Nesse sentido, os especialistas concluem que na região latino-americana os mais pobres sofrem de maneira desproporcional com a incidência dessas doenças, e, dentre os pobres, especialmente as mulheres e as crianças (ONUBR, 2016).

A água é também um recurso fundamental para os processos produtivos. No entanto o abastecimento hídrico e os problemas a ele relacionados expressam as desigualdades históricas entre os países e no interior destes (Flores, 2013). No Brasil, por exemplo, uma dessas desigualdades é na distribuição geográfica dessa água entre as regiões. Assim, apesar de concentrar 13% das águas superficiais disponíveis no planeta (ANA, 2013), as bacias mais próximas do Oceano Atlântico concentram apenas 2,7% das águas do país e possuem 45,5% da população total; já na região Norte, os volumes de água correspondem a 81% do

total disponível no país, entretanto, nessa região, vivem cerca de 5% da população brasileira (ANA, 2015a).

Considerando os diversos usos das águas no Brasil, o relatório de *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil* de 2015 (ANA, 2015) aponta que 75% da água do país é retirada para fins de irrigação, seguida do abastecimento animal (9%), abastecimento humano urbano (8%), indústria (6%) e abastecimento humano rural (2%) (ANA, 2015b). Os altos índices de contaminação das águas superficiais brasileiras são responsáveis pela inviabilidade do uso de determinadas fontes de água e contribuem com o agravamento de problemas relacionados à incidência de doenças de veiculação hídrica. A qualidade dessas águas é pior nos corpos hídricos das áreas urbanas, especialmente contaminadas pelo lançamento de dejetos e o insuficiente tratamento de esgotos, de acordo com o Relatório de conjuntura dos Recursos Hídricos de 2013 (ANA, 2013).

Na medida em que o acesso à água é considerado um direito com longas raízes históricas, presente na afirmação da água como bem de domínio público na Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (Brasil, 1988) e regulamentado pela Lei 9.433 de 1997 (Brasil, 1997), esse direito entra em contradição com o avanço das relações mercantis e capitalistas. Trata-se do processo de transformar em mercadoria ou em um campo de investimento recursos disponíveis na natureza, encontrando-se novas esferas de valorização do capital. Com isso se estabelece a contradição entre o direito humano de acessar a água em qualidade e quantidade adequada e a propriedade privada das fontes e reservatórios de água.

Até a década de 1970, a legislação brasileira, relacionada aos recursos hídricos, voltava-se unicamente para disciplinar a propriedade e o uso da água, sem se preocupar com as necessidades de conservação e preservação, a partir de uma concepção de que a água era um recurso infinito, refletida nas diversas Constituições Nacionais desde 1934, de acordo com a síntese histórica do Plano Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2006). As regulações dos recursos hídricos se referiam aos usos específicos das águas na agricultura, geração de energia, navegação e as políticas de combate aos efeitos das secas. Não havia uma política nacional que regulasse os usos das águas em todo o território nacional. Esse cenário se altera gradativamente com a industrialização brasileira e os interesses de garantir a oferta de água suficiente para as atividades industriais e as aglomerações urbanas e para os investimentos em programas de eletrificação, saneamento urbano e irrigação (Brasil, 2006).

O caráter público da água foi afirmado na Constituição de 1988, que estabeleceu no seu artigo 225 que o meio ambiente ecologicamente equilibrado é bem de uso comum do povo, portanto, compete ao Estado defendê-lo e preservá-lo para as gerações presentes e futuras (Gomes, 2013). O Estado passa a regulamentar juridicamente a água como direito público fundamental, delimitando a dominialidade das águas entre União, Estados e municípios, fazendo convergir ações sistemáticas do poder público para os serviços de abastecimento e saneamento básico.

A Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 conhecida como 'Lei das águas' (Brasil, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SNGRH –, é um importante marco na gestão das águas no Brasil e introduziu importantes inovações em relação ao *Código das Águas* de 1934<sup>1</sup> (Brasil, 1934). Esta legislação incluiu o conceito de água como propriedade difusa, admitindo-a como bem público, mas que pode ser explorado pela iniciativa privada por meio do direito de outorga (Gomes, 2013)<sup>2</sup>.

Apesar de o direito à água ser juridicamente garantido, muitas áreas do país, especialmente da região Nordeste, não oferecem garantia segura de água para os diversos usos, especialmente para o abastecimento humano. Esse déficit hídrico é comumente apontado como fator determinante da pobreza e como elemento basilar do que se convencionou denominar de crise hídrica do mundo rural brasileiro (ANA; CGEE, 2012). De fato, em áreas onde há déficit no abastecimento, seja em decorrência da apropriação privada dos recursos ou dos altos níveis de poluição das águas superficiais, o comprometimento mais significativo será o abastecimento da população mais pobre.

Sem dúvida, a água se tornou um negócio lucrativo no contexto da exploração do capital e um indicador importante das desigualdades sociais. E a questão da água se impõe como uma questão de ordem político-econômica e social, que produz e reproduz a sede para os pobres.

#### **A aplicação das nanotecnologias à água e o estado da pesquisa e desenvolvimento no Brasil**

Desde o começo deste século, as nanotecnologias têm sido consideradas uma alternativa importante para solucionar problemas chave dos países em vias

de desenvolvimento, como energia, água potável, saúde etc. (Juma & Yee-Cheong, 2005; Salamanca-Buentello et al., 2005; Singer, Salamanca-Buentello & Daar, 2005).

As nanotecnologias referem-se a uma variedade de técnicas que permitem trabalhar a matéria em nível atômico e molecular. Os materiais manufaturados menores a 100 nanômetros são conhecidos como nanomateriais. Estes desenvolvem propriedades físico-químicas diferentes das que manifestam a mesma matéria em tamanho maior. O ouro, por exemplo, é considerado um material inerte, mas, quando o tamanho é reduzido a um nível nanométrico, pode ter mais de 70% de seus átomos na superfície externa e, portanto, torna-se reativo e útil como sensor em líquidos (Zhang & Saebfar, 2010).

Vários desses materiais estão sendo utilizados em processos de remediação e purificação de água. A diminuta escala e a ampla superfície externa em relação a sua massa favorecem a diluição, a reatividade e a adsorção, o que indica que a vantagem do tamanho nano também pode estar no supermagnetismo, na ressonância de plasma ou em efeitos quânticos (Qu, Alvarez, & Li, 2013).

Existem diferentes métodos de tratamento da água a partir da utilização de nanomateriais. Os principais são por adsorção, membranas de filtração, fotocatalise e desinfecção (Grimshaw, 2009; OECD, 2011; Pendergast & Hoek, 2011; Qu et al., 2013). Alguns desses procedimentos permitem a destoxificação *in situ*, o que implica em enormes vantagens técnicas e econômicas em corpos e cursos de água (Karn, Kuiken, & Otto, 2009).

A adsorção consiste em degradar e/ou atrair os contaminantes até materiais orgânicos, metálicos e/ou polímeros, mediante reativos químicos e procedimentos magnéticos, para, depois, separá-los ou removê-los.

As membranas são barreiras físicas que removem contaminantes, dissolvem sais e tornam a água mais branda. Vários materiais nano-porosos estão sendo utilizados para esse fim. A nano-fotocatalise, que utiliza filmes finos, aplicados sobre superfícies, é ativada por luz, produzindo propriedades bactericidas e fungicidas e pode remover odores do ar e matar vírus.

A fotocatalise também está sendo utilizada para produzir energia, mediante a degradação de biomassa e a produção de hidrogênio (Colmenares et al., 2009). A desinfecção funciona por processos químicos de desintegração e separação que permitem purificar água turva, com micróbios e vírus, metais pesados e patogênicos.

<sup>1</sup> Decreto federal nº 24.643 de 10 de julho de 1934, conhecido como *Código das águas*. Na época, foi considerado inovador pela comunidade internacional, como uma das mais completas normas legais sobre águas já elaboradas (Brasil, 2006)

<sup>2</sup> Instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos que visa assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água, estabelecidos na Lei federal 9.433/1997 (ANA, 2016).

A nanotecnologia também pode ser vantajosamente utilizada para monitorar os estados de líquidos e gases e também de materiais sólidos. Os sensores monitoram a variação das cargas elétricas, quando em contato com outros elementos. Pela maior reatividade relativa das nanopartículas, a eficiência dos sensores nanométricos aumentam milhares de vezes a capacidade sensitiva dos materiais. Diversos materiais reativos são utilizados em escala nano (por exemplo, enzimas, NTC). Porém o uso da nanotecnologia para remediar e potabilizar água não está livre de inconvenientes. Há potenciais riscos associados pouco estudados; e o escasso desenvolvimento tecnológico ainda requer aperfeiçoamento<sup>3</sup>.

A Tabela 1 ilustra os métodos e os principais nanomateriais empregados em cada um deles.

**Tabela 1.** Principais métodos de tratamento de água com nanotecnologia.

Aplicações	Principais nanomateriais
Adsorção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanotubos de carbono</li> <li>• Base metálica (ex. óxido de ferro, dióxido de titânio, alumínio)</li> <li>• Polímeros (dendrimeros)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nanofibras</li> <li>• Nanocompostos</li> </ul>
Membranas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeólitas</li> <li>• Membranas com bioreatores</li> <li>• Osmoses</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TiO<sub>2</sub></li> </ul>
Fotocatálise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nano-Ag</li> <li>• Nano-ZO</li> <li>• Nano-TiO<sub>2</sub>,</li> <li>• Nano-CeO</li> <li>• NTC</li> <li>• Fullerenos</li> <li>• Magnésio</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTC</li> <li>• Enzimas</li> </ul>

Fonte: elaboração própria a partir de Pendergast e Hoek (2011), Qu et al. (2013) e OECD (2011).

A principal preocupação é o potencial risco para a saúde e o meio ambiente que as nanopartículas possam causar como efeito secundário. Isso pode ocorrer quando se utilizam as nanopartículas livremente no ambiente (por exemplo, remediação *in situ*) (Bardos et al., 2015; Karn, Kuiken & Otto, 2009), mas também em qualquer caso nas diferentes etapas do ciclo de vida dos nanomateriais. Os que absorvem contaminantes podem transportá-los a outros lugares; os próprios nanomateriais podem ser prejudiciais e ter efeitos tóxicos. Além disso, os nanomateriais, por sua maior reatividade química, comportam-se como novos elementos químicos, e

suas propriedades tóxicas não foram suficientemente estudadas (Colvin, 2003; Kulinowski, 2009; Maynard, 2007; Oberdörster, Oberdörster & Oberdörster, 2005). Os poucos estudos sobre o impacto das nanopartículas no meio ambiente são realizados em laboratório, guiados por protocolos utilizados para produtos químicos em tamanho maior, o que não equivale precisamente ao comportamento das nanopartículas, além de que os ecossistemas são muito mais complexos que as reduzidas variáveis de laboratório.

Os principais estudos dos efeitos toxicológicos das nanopartículas na água têm sido realizados com CNT (nanotubos de carbono), TiO<sub>2</sub> (dióxido de titânio), Ag nano (nano-prata). Nenhum desses estudos é conclusivo; e, enquanto no caso dos CNT os resultados têm sido variados e contraditórios, o TiO<sub>2</sub> parece danificar as membranas celulares dos micro-organismos, e a nano-prata pode ser altamente tóxica para micro-organismos como bactérias, fungos e algas (Greßler & Nentwich, 2012).

Muitas universidades e centros de pesquisa públicos e privados investigam sobre nanotecnologia no Brasil e algumas, sobre nanotecnologia e água. O plano plurianual 2004-2007 de desenvolvimento incluiu o programa da nanociência e da nanotecnologia, que destaca a potencialidade das nanotecnologias para remediação ambiental (GT, 2003). Posteriormente, na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015 a questão ambiental emerge como objetivo, e o desenvolvimento de sensores e sistemas de monitoramento ambiental e o tratamento de efluentes e resíduos são definidos como áreas prioritárias (Brasil, 2011). A seguir resumem-se as principais informações disponíveis em relação às investigações destinadas à nanotecnologia e água.

#### Publicações científicas

O relatório do projeto de investigação NMP-DeLA, financiado pela União Europeia em sua *7th Framework Programme* (VVAA, 2013), identificou entre os anos de 2000 e 2013 360 artigos científicos registrados na *Web of Science* e relacionados com nanotecnologia e água, de autores com residência no Brasil. Quatro universidades, todas do Estado de São Paulo, foram sede de 58% dos artigos, o que não surpreende por tratar-se do Estado com as maiores e melhores universidades do país. Só uma universidade na região Nordeste (Universidade Federal do Ceará) foi sede significativa de publicações em nanotecnologia e água, com dez

<sup>3</sup> Na África do Sul foram feitas membranas com osmose inversa para descontaminar água, com 99% de efetividade, mas, além dos contaminantes, as membranas detiveram nutrientes como íons de cálcio e magnésio, tornando a água não potável (Hillie & Hlophle, 2007).

artigos científicos no período, ou 2,8% do total de 360 (VVAA, 2013). É possível notar que a proporção de estudos sobre nanotecnologia e água dentro do total das investigações em nanotecnologias é marginal.

### Projetos de pesquisa em nanotecnologia e água

A agência federal CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), que é a mais importante fonte de financiamento para a investigação científica do Brasil, lançou sete chamadas para projetos de investigação especificamente em nanotecnologia entre 2006 e 2012, a partir dos quais aproximadamente 225 projetos foram financiados. Destes, apenas 11 (5% do total) foram sobre nanotecnologia e água. A

Tabela 2 mostra as diferentes chamadas a projetos, o total de projetos financiados e os correspondentes à nanotecnologia e água, assim como o título destes últimos.

A partir do título e do resumo dos projetos, identifica-se a função ou a aplicação principal, distinguindo-se aquelas pesquisas dirigidas a potabilizar água, dessalinizar, remediar ou monitorar.

A tabela mostra que todos os projetos se referem à remediação de corpos ou cursos de água. É necessário notar que outras pesquisas financiadas em nanomateriais, sensores, membranas etc., de múltiplos usos, podem ser aplicadas à descontaminação de água e obtenção de água potável e não estar registradas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Chamadas a projetos de pesquisa em nanotecnologia (CNPq 2006-2012).<sup>4</sup>

Chamadas de pesquisa	Pesquisas financiadas em nanotecnologia	Pesquisas financiadas em nanotecnologia e água	Título do projeto. Potabilizar = P; Dessalinizar = D; Remediar = R; Monitorar = O
Chamada MCTI/CNPq n° 16/2012 - expansão e consolidação de competências nacionais em nanotecnologia/Jovens pesquisadores	13	0	
Chamada MCTI/CNPq n° 16/2012 - expansão e consolidação de competências nacionais em nanotecnologia /Pesquisadores Sênior	11	0	
-Chamada MCTI/CNPq n° 21/2011 Apoio à execução de projetos conjuntos de pesquisa, desenvolvimento e inovação em nanotecnologia no âmbito da cooperação internacional Brasil-México.	9	1	Título não identificado. R
Chamada MCTI/ CNPq 17/2011	n/d	1	Criação de uma rede em nanotoxicologia aquática no Centro-oeste.
Chamada MCTI/CNPq n° 74/2010 Formação de redes cooperativas de pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia.	17	1	Processamento e caracterização de superfícies funcionalizadas com nano partículas antimicrobianas para tratamento de água. R
Chamada MCT/CNPq n° 62/2008 - apoio à pesquisa fundamental em Nanociências, preferencialmente voltada a fomentar a inovação e impulsionar aplicações tecnológicas/ Jovens Pesquisadores.	175	6	Desenvolvimento de Materiais Nanoestruturados aplicados à Eletrocatalise da reação de redução de oxigênio para fins de geração de energia elétrica e remediação ambiental (tratamento de águas residuárias). R Modificação de TiO <sub>2</sub> com metais e óxidos para desenvolvimento de foto-reatores protótipos para purificação de água. R •Processos de adsorção e catálise ambiental na despoluição de águas residuárias têxteis: um estudo comparativo entre os tratamentos convencionais e sistemas com uso de materiais nanoestruturados. R •Síntese e estudos estruturais de catalisadores a base de óxidos metálicos nanoestruturados para degradação de compostos poluentes. R •Desenvolvimento de material magnético para remoção de petróleo derramado em ambiente aquático usando a glicerina gerada na produção de biodiesel. R •Desenvolvimento e aplicação de materiais avançados para a degradação de poluentes orgânicos. R
Edital MCT/CNPq n° 42-2006 – Programa Nacional de Nanotecnologia – Jovens Pesquisadores	n/d	2	•Desenvolvimento de colóides de nanopartículas magnéticas encapsuladas para aplicação na descontaminação das águas. R •Nanoesponjas para aplicações ambientais. R

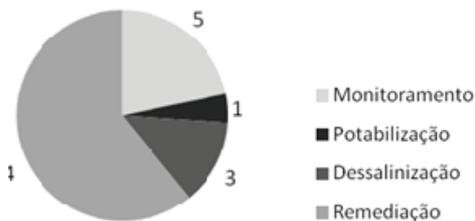
Fonte: CNPq Resultados das chamadas de pesquisa e currículos dos pesquisadores (lattes.cnpq.br); a partir de (VVAA, 2013), e informação direta do MCTI<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Somente as chamadas à investigação específica para nanotecnologia foram consideradas. Somente aqueles projetos cujos títulos ou descrição no resumo se referiam às aplicações de nanotecnologia em água foram considerados (não se incluíram projetos com múltiplas aplicações sem explícita referência à nanotecnologia e água, por exemplo: desenvolvimento de sensores com múltiplas aplicações, que eventualmente poderiam ser usados no monitoramento da contaminação da água).

### Grupos de pesquisa do CNPq em nanotecnologia e água

O projeto NMP-DeLA realizou uma busca na base de dados do CNPq de grupos de investigação sobre aplicações de nanotecnologia à água, aqueles dados foram atualizados pelos autores deste artigo. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave: água+nano; nano+adsorção; nano+membranas; nano+fotocatálise; nano+bactericida; nano sensores+água; nano+dessalinização<sup>5</sup>.

Foram identificados 17 grupos de pesquisa que atuam nas seguintes áreas: dessalinização, potabilização, remediação ambiental e sensores/monitoramento. Embora algumas tecnologias possam ser utilizadas com mais de um propósito (por exemplo, membranas para remediação ambiental ou potabilização), de acordo com as informações divulgadas pelos próprios grupos, 12 deles priorizam alguma dessas áreas de investigação, enquanto cinco deles declaram que trabalham em mais de uma área. Se se tomar as diferentes áreas, o que significa que alguns grupos participam mais de uma vez, como mostra a Figura 1, predominam amplamente no Brasil os grupos de investigação que se dedicam à remediação ambiental (14 grupos), com destaque para a investigação sobre recuperação de efluentes contaminados por metais pesados e componentes orgânicos. Três grupos conduzem investigações sobre dessalinização de água, cinco sobre sensores e monitoramento da qualidade da água e um sobre potabilização da água.

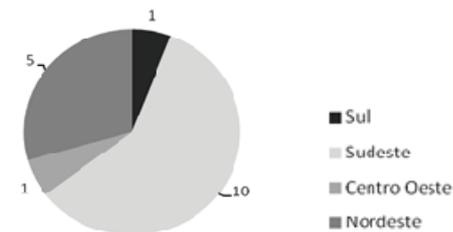


**Figura 1.** Áreas de atuação dos grupos de pesquisa em nanotecnologia e água.

Elaboração própria com base em: VVAA (2013) atualizada pelos autores a partir da base de dados dos grupos de pesquisa do CNPq em 12/2015.

Em termos de sua localização no território nacional, dez grupos estão na região Sudeste do país, que historicamente concentra as atividades de ciência e tecnologia; cinco estão na região Nordeste; um, na região Sul; e um, na região Centro-oeste (Figura 2). Não se identificaram grupos na região Norte. É interessante notar que, dos três grupos que investigam sobre dessalinização da água, dois se localizam no Nordeste, região que possui uma extensa costa oceânica.

As pesquisas sobre remediação de águas contaminadas, ainda que mais representadas no Sudeste com oito grupos de investigação, são desenvolvidas em várias regiões do país.



**Figura 2.** Grupos de pesquisa de CNPq por região geográfica

Elaboração própria com base em: VVAA (2013) atualizada pelos autores a partir da base de dados dos grupos de pesquisa do CNPq em 12/2015.

Nota-se que as pesquisas sobre nanotecnologia e água desenvolvem-se, principalmente, em instituições de pesquisa públicas. Somente um grupo de investigação se localiza em uma universidade privada, enquanto 13 grupos têm suas sedes em universidades públicas estaduais e federais, e duas, em centros de investigação públicos.

Em matéria de análise sociológica, as ausências na pesquisa são sempre significativas. Com 20 anos de desenvolvimento de pesquisas em nanotecnologia no Brasil (Bejarano, 2012; Invernizzi, 2010), não existe uma política de acompanhamento de análise de risco para todas as pesquisas. No caso da água isso é significativo, já que a grande maioria das pesquisas trata de remediação e descontaminação de cursos de água, portanto, colocam-se diretamente na esfera dos estudos de sustentabilidade. O fato de as técnicas de nanotecnologia implicarem a incorporação de materiais em escala diminuta, que supõe comportamentos físico-químicos diferentes da mesma matéria em tamanho maior, levanta a questão de, se ao se buscar resolver um problema, não se corre o risco de criar outro (Kulinowski, 2009; Maynard et al., 2006; Oberdörster, Oberdörster, & Oberdörster, 2005).

### Considerações finais

Enfrentar os problemas relacionados ao acesso à água requer transformações socioeconômicas, redimensionamento das políticas públicas e das trajetórias tecnológicas. Nos últimos anos as nanotecnologias têm chamado a atenção por seu potencial para aplicação em setores muito diferentes, incluindo a remediação, potabilização e dessalinização da água.

A investigação em nanotecnologia e água no Brasil representa um percentual marginal, em relação aos estudos que se realizam em

<sup>5</sup> Em todos os casos foi utilizado também o termo nanotecnologia por extenso por um defeito da base de dados.

nanotecnologia em geral, tomando como indicadores as publicações científicas, os projetos de pesquisa financiados e os grupos de investigação. Com exceção de apenas um caso, todos os projetos de pesquisa registrados em nanotecnologia e água são realizados em instituições públicas.

Dentro das investigações em nanotecnologia e água no Brasil a maioria enfoca a remediação ambiental, onde se concentram quase 70% dos grupos de investigação e a imensa maioria dos projetos de investigação em nanotecnologia e água financiados.

Considerando-se a importante quantidade de pesquisadores em nanotecnologia no Brasil, assim como a infraestrutura disponível (Invernizzi, 2010), é possível pensar em uma política pública com a canalização de maiores recursos para pesquisas em nanotecnologia para a água potável, uma área com diretas repercussões nas condições de vida das populações. Porém, para que isso seja feito de maneira sustentável, as políticas públicas de nanotecnologia devem focalizar importantes esforços de pesquisa em análise de risco das partículas utilizadas para a saúde humana e ambiental

## Referencias

- Agencia Nacional de Águas [ANA], & Centro de Gestão e Estudos Estratégicos [CGEE]. (2012). *A questão da água no Nordeste*. Recuperado de [http://www.cgce.org.br/publicacoes/agua\\_nordeste.php](http://www.cgce.org.br/publicacoes/agua_nordeste.php)
- Agência Nacional de Águas [ANA]. (2013). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013*. Brasília, DF.
- Agência Nacional de Águas [ANA]. (2015a). *Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2015*. Brasília, DF.
- Agência Nacional de Águas [ANA]. (2015b). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - informe 2014*. Brasília, DF. Recuperado de <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informes2014.pdf>
- Agência Nacional de Águas [ANA]. (2016, 25 de abril). *Sobre a ANA - Regulação - Coordenações*. Recuperado de <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreANA/uorgs/sof/geout.aspx>
- Bardos, P., Bone, B., Černík, M., Elliott, D. W., Jones, S., & Merly, C. (2015). Nanoremediation and International environmental restoration markets. *Remediation Journal*, 25(2), 83-94.
- Bejarano, F. (2012). Las nanotecnologías como tema emergente en la agenda ambiental internacional y los restos de la sociedad civil en América Latina. In G. Foladori, E. Záyago, & N. Invernizzi (Eds.), *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. México, DF: Miguel Angel Porrúa.
- Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2011). *Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação 2012-2015: balanço das atividades estruturantes*. Recuperado de [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0218/218981.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0218/218981.pdf)
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. (2006). *Plano nacional de recursos hídricos: síntese executiva*. Recuperado de <http://www.mi.gov.br/documents/10157/3675235/PLANO+NACIONAL+DE+RECURSOS+HIDRICOS.pdf/a8a83f9a-5e31-4da1-96b4-4edafe55c5cf>
- Brasil. Presidência da República. (1934). Decreto 24.643 – Código das Águas. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d24643.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm)
- Brasil. Presidência da República. (1988). Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)
- Brasil. Presidência da República. (1997). Lei 9433 – Lei das Águas. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)
- Colmenares, J. C., Luque, R., Campelo, J. M., Colmenares, F., Karpiński, Z., & Romero, A. A. (2009). Nanostructured photocatalysts and their applications in the photocatalytic transformation of lignocellulosic biomass: an overview. *Materials*, 2(4), 2228-2258.
- Colvin, V. L. (2003). The potential environmental impact of engineered nanomaterials. *Nature Biotechnology*, 21(10), 1166-1170.
- Flores, R. K. (2013). Dos antagonismos na apropriação capitalista da água à sua concepção como bem comum. *Organizações & Sociedade*, 22(73), 237-250.
- Gomes, G. F. (2013). *Conflitos socioambientais e o direito à água*. São Paulo, SP: Outras Expressões.
- Greßler, S., & Nentwich, M. (2012, March 2012). Nano and environment – Part II: Hazard potentials and risks. *NanoTrust Dossiers*, 27.
- Grimshaw, D. (2009, June 5). Nanotechnology for clean water: facts and figures. *SciDevNet*. Recuperado de <http://www.scidev.net/index.cfm?originalUrl=global/water/feature/nanotechnology-for-clean-water-facts-and-figures.html>
- GT (2003). Desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia. Proposta do Grupo de Trabalho criado pela Portaria MCT nº 252 como subsídio ao Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia do PPA 2004-2007. Recuperado de [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0002/2361.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2361.pdf)
- Hillie, T., & Hlophe, M. (2007). Nanotechnology and the challenge of clean water. *Nature Nanotechnology*, 2(11), 663-664.
- Invernizzi, N. (2010). Science policy and social inclusion: advances and limits of brazilian nanotechnology policy. In *Yearbook of nanotechnology in society: The challenges of equity, equality and development* (Vol. II, p. 291-307). New York, NY: Springer.
- Juma, C., & Yee-Cheong, L. (Eds.). (2005). *Innovation: applying knowledge in development*. London, UK:

- Earthscan. Recuperado de <http://www.unmillenniumproject.org/documents/Science-complete.pdf>
- Karn, B., Kuiken, T., & Otto, M. (2009). Nanotechnology and in situ remediation: a review of the benefits and potential risks. *Environmental Health Perspectives*, 117(12), 1823-1831.
- Kulinowski, K. (2009). Temptation, temptation, temptation: why easy answers about nanomaterial risk are probably wrong. *AzoNanotechnology*. Recuperado de <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=2448>
- Maynard, A. (2007). Nanoparticle safety. a perspective from the United States. In R. E. Hester, & R. M. Harrison (Eds.), *Nanotechnology: consequences for human health and the environment* (p. 118-131). Cambridge, UK: RSC Publishing.
- Maynard, A., Aitken, R., Butz, T., Colvin, V. L., Donaldson, K., Oberdörster, G., & Warheit, D. (2006). Safe handling of nanotechnology. *Nanotechnology*, 444, 267-269.
- Nações Unidas do Brasil [ONUBR]. (2016, 3 de novembro). *Zika: serviços adequados de água e saneamento são a melhor resposta, afirmam especialistas da ONU*. Recuperado de <https://nacoesunidas.org/zika-servicos-adequados-de-agua-e-saneamento-sao-a-melhor-resposta-afirmam-especialistas-da-onu/>
- Oberdörster, G., Oberdörster, E., & Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113(7), 823-839.
- Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2011). *Fostering nanotechnology to address global challenges: water*. Recuperado de <http://www.oecd.org/sti/nano/47601818.pdf>
- Pendergast, M. M., & Hoek, E. M. V. (2011). A review of water treatment membrane nanotechnologies. *Energy & Environmental Science*, 4(6), 1946.
- Programas das Nações Unidas para o Desenvolvimento [PNUD]. (2006). *Resumo relatório do desenvolvimento humano 2006: poder, pobreza e a crise mundial da água*. Recuperado de [http://www.pnud.org.br/hdr/arquivos/RDHglobais/hdr2006\\_portuguese\\_summary.pdf](http://www.pnud.org.br/hdr/arquivos/RDHglobais/hdr2006_portuguese_summary.pdf)
- Qu, X., Alvarez, P. J. J., & Li, Q. (2013). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research*, 47(12), 3931-3946.
- Salamanca-Buentello, F., Persad, D., Court, E., Martin, D., Daar, A., & Singer, P. (2005). Nanotechnology and the Developing World. *PLoS Medicine*, 2(5), 1-14. Recuperado de <http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020097>
- Singer, P., Salamanca-Buentello, F., & Daar, A. (2005). Harnessing nanotechnology to improve global equity. *Issues in Science and Technology*, 21(4).
- UN WATER. (2014, July 10). *Statistics*. Recuperado de <http://www.unwater.org/statistics/en/>
- VVAA. (2013). Nanosciences, nanotechnologies, materials and new production technologies deployment in Latin American countries. In *7th Framework Programme. European Union* (Grant agreement No: 608740). Recuperado de <http://www.nmpdela.eu/index.php/news/51-nmp-dela-deliverables>
- World Health Organization [WHO] & UNICEF. (2015). *Progress on drinking water and sanitation*. Recuperado de [http://files.unicef.org/publications/files/Progress\\_on\\_Sanitation\\_and\\_Drinking\\_Water\\_2015\\_Update.pdf](http://files.unicef.org/publications/files/Progress_on_Sanitation_and_Drinking_Water_2015_Update.pdf)
- Zhang, S., & Saebfar, H. (2010, September). *Chemical Information Call-in Candidate: Nano Zinc Oxide*. San Francisco, Calif. Recuperado de [http://www.dtsc.ca.gov/TechnologyDevelopment/Nanotechnology/upload/Nano\\_Zinc\\_Oxide.pdf](http://www.dtsc.ca.gov/TechnologyDevelopment/Nanotechnology/upload/Nano_Zinc_Oxide.pdf)

Received on July 11, 2016.

Accepted on August 25, 2016.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.