

Nanomateriais na Reabilitação de Património Arquitetónico

Nanomaterials In Heritage Architectural Rehabilitation

Carlos Manuel Franco, Doutorando (Universidade Lusófona de Lisboa)

cmfrancopt@gmail.com

Resumo

O presente artigo tem como objetivo contribuir para estimular a introdução de materiais nanoestruturados nas intervenções de reabilitação, com novas características e novas propriedades, nomeadamente as de autolimpeza, invocando as suas vantagens quando aplicadas no revestimento de superfícies expostas particularmente em ambientes agressivos. O património edificado nas grandes cidades, confronta-se com problemas ambientais agravados, mormente pela sua contínua exposição aos gases altamente poluentes emitidos pelo intenso e contínuo tráfego de veículos e pela indústria instalada na periferia, refletindo-se negativamente na qualidade do ar, com a consequente degradação das fachadas dos edifícios, provovendo custos mais elevados e maior necessidade de obras de manutenção. A estabilização estrutural, com recurso a materiais compósitos, destacando-se a aplicação de fibras de carbono, de manuseamento substancialmente melhorado - pela sua leveza, flexibilidade e resistência, possibilitando uma intervenção mínima, pouco intrusiva, garantirá maior rapidez de execução, reduzindo o número de trabalhadores e equipamento necessário em estaleiro.

Palavras-chave: Nanomateriais; Reabilitação; Património Arquitetónico.

Abstract

The present article aims to contribute to stimulate the introduction of nanostructured materials in rehabilitation interventions, with new characteristics and new properties, such as self-cleaning, invoking its advantages when applied to the coating of exposed surfaces particularly in aggressive environments. The buildings in the big cities are confronted with aggravated environmental problems, mainly due to its continuous exposure to the highly polluting gases emitted by the intense and continuous traffic and by the installed industry in the periphery, negatively reflecting on the quality of the air, with the consequent degradation of building facades, resulting in higher costs and greater need for maintenance works. The structural stabilization, with the use of composite materials, notably the application of carbon fibers, of substantially improved handling - for their lightness, flexibility and resistance, allowing a minimal intervention, less intrusive, will guarantee a faster execution, reducing the number of necessary workers/equipment in the dockyard.

Keywords: *Nanomaterials; Rehabilitation; Heritage Architectural*

1. Introdução

A investigação tem uma vertente direcionada aos nanomateriais já disponíveis no setor da construção, cuja aplicação possa vir a ser considerada conveniente e preferível em intervenções de reabilitação, permitindo ao arquiteto a definição de novas metodologias de atuação menos intrusivas e conseqüentemente, com maior garantia de preservação do património arquitetónico na sua essência. Pretende-se ainda que venha a ser um documento acessível e útil para a divulgação de todo o conhecimento adquirido sobre uma matéria ainda não suficientemente difundida no que diz respeito ao potencial das novas ciências, num contributo para uma maior sensibilização da sociedade civil em geral, dos arquitetos, engenheiros e do mundo académico em especial. Os valores relativos ao consumo de matérias-primas e energia despendida no processo de fabricação de Nanomateriais são mais favoráveis em termos ambientais e de sustentabilidade, comparativamente a processos e materiais convencionais, numa melhoria da eficiência energética e da redução das emissões de CO₂ em edifícios.

A indústria da construção representa um dos maiores setores em toda a Europa, representando 28,1 e 7,5% de empregabilidade, respetivamente na indústria e em toda a economia europeia, faturando anualmente 750 milhões de euros: 25% de toda a produção industrial europeia. Sem de deixar de ter reflexos nefastos ambientais, é responsável por 30% das emissões de carbono, consumindo, por sua vez o parque edificado 42% da energia produzida. A nível mundial a indústria da construção consome aproximadamente 3000 Mt/ano, quase 50% em massa, mais matérias-primas que qualquer outra atividade económica, evidenciando um setor absolutamente insustentável. Para agravamento da situação já de si um pouco fora de controlo, muito do edificado em uso padece de patologias provocadas quer por humidade excessiva, dando origem à formação de bolores, fungos e conseqüente má qualidade do ar, quer por ambientes com valores de humidade relativa abaixo de 40%, situações propícias à evolução de doenças do foro respiratório (TORGAL, F. & JALADI, S. p.23).

A incorporação de resíduos, não só os resultantes da própria construção civil e demolição (RC&D), como também e sobretudo os resíduos produzidos por outras indústrias, no fabrico de betões (concreto) com características pozolânicas, como cinzas volantes, escórias de alto-forno, sílica de fumo, cinzas de resíduos vegetais, cinzas de resíduos sólidos urbanos, resíduos de vidro, resíduos da indústria automóvel, de plástico, da indústria das rochas ornamentais, entre outros, em conjugação com uma seleção de materiais a utilizar sob a perspetiva de sustentabilidade, com uma análise cuidada do ciclo de vida (ACV), materiais obtidos de fontes renováveis, recicláveis, com baixa energia incorporada, fará da indústria da construção uma atividade sustentável (TORGAL, F. 2010, pp. 20-24).

No Brasil a indústria do açúcar e álcool processaram mais de 600 milhões de toneladas de cana em 2009, produzindo um valor superior 140 milhões de toneladas de bagaço [Fig. 1], possibilitando a destilação para o bagaço da cana através da queima controlada associada à síntese de nanotubos de carbono (CNTs), materiais que possuem inúmeras possibilidades de aplicações tecnológicas, nomeadamente da produção de materiais nanoestruturados (ALVES, J. et al, 2012)

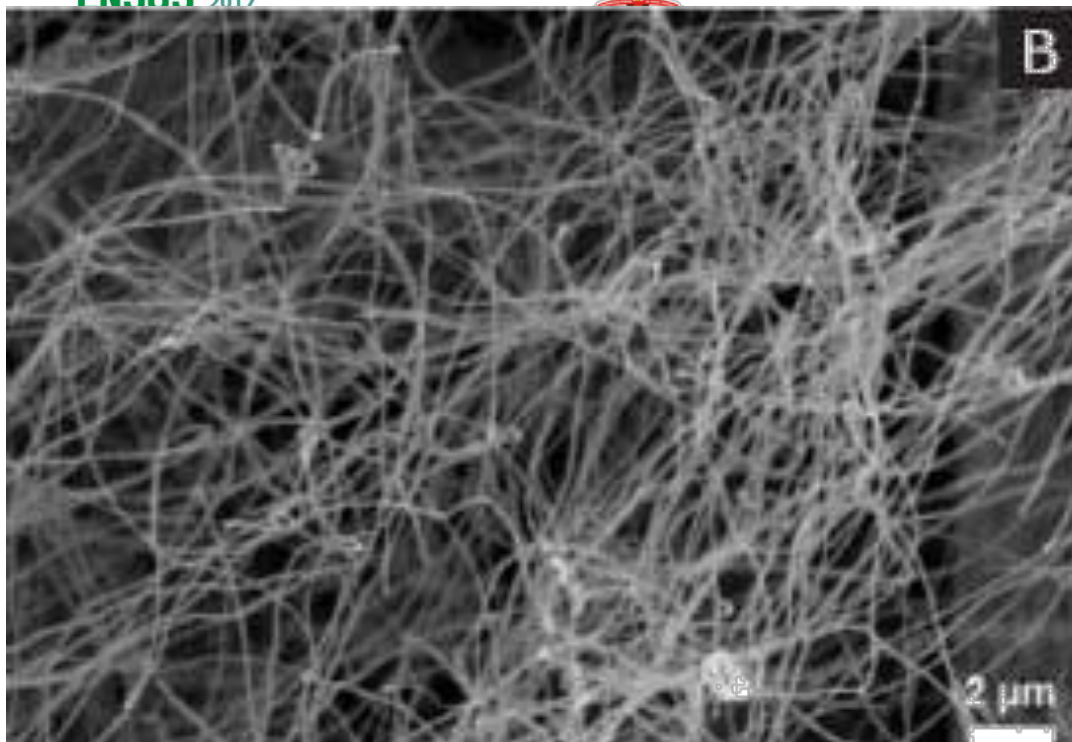


Figura 1: Nanotubos de carbono resultantes da queima do bagaço de cana do açúcar. Fonte: Alves, J. et al, 2012, in http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672012000300006, acessado em 30-08-2015

A adoção de medidas visando à sustentabilidade ambiental deverá começar na fase de concepção de projeto até a conclusão da obra, reduzindo o impacto tanto na produção de resíduos provenientes da construção, como os encargos com a manutenção do edificado público, visando a observação dos princípios que norteiam a sustentabilidade ambiental. Cabe assim à Administração Pública - a título de exemplo para a sociedade civil, adotar soluções que verifiquem a eficiência energética (GOMES, M. 2014, in *Obras Públicas Sustentáveis, Materiais de Construção Sustentáveis*, Volume 2: pp.523-531). Serão as boas práticas que urge implementar no setor da construção, que maior impacto terão na prevenção e mitigação das alterações climáticas (TIRONE, L. 2008, p.14).

A metodologia adotada teve como plataforma de trabalho a consulta de bibliografia específica e pesquisas de artigos científicos publicados sobre nanotecnologia e nanomateriais, recorrendo-se ainda a livrarias científicas disponíveis em linha, nomeadamente a Scientific Electronic Library, no endereço <http://www.scielo.br>, e aos artigos científicos apresentados no Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, disponibilizados em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>.

1- Estado da Arte

Desde a antiguidade o homem procurou combinar diferentes materiais, tirando vantagens das características de cada um individualmente, potencializando o seu desempenho quando em

conjunto – terra associada à palha no fabrico de tijolos para a construção das suas habitações (Mesopotâmia, desde 5.000 a.C.). Em comparação com os atuais compósitos de matriz polimérica, a palha desempenhava funções das fibras de reforços enquanto a terra humedecida teria funções semelhantes à da matriz polimérica (GONÇALVES, M. Clara & MARGARIDO, F. 2012, p. 576).

Não sendo possível afirmar com exatidão a data em que a humanidade construiu o primeiro utensílio incorporando partículas nanométricas, é contudo do conhecimento que no decorrer do século IV a.C., o vidro usado no fabrico do Cálice de Licurgos [Fig. 2], – que descreve a morte do rei com o mesmo nome, contém nanopartículas de ouro e prata, conferindo-lhe a particularidade de mudança de cor apenas com a mudança de posição da origem da luz (NETO, O. & PACHECO, M. *et al*, 2012, p.19).



Figura 2:Cálice de Licurgos. Fonte: <http://lifarnur.blogspot.pt/2016/04/antiche-nanotecnologie-la-coppa-di.html>, acedido em 05-01-2017

Surpreendentemente quando a luz incide por fora a taça adquire a cor verde e quando iluminada no seu interior apresenta-se em tons avermelhados enquanto o Rei Licurgos assume a cor púrpura. Este fenómeno só foi explicado no ano de 1990, numa análise efetuada por cientistas com recurso a um microscópio atómico de varredura, obtendo-se a resposta para o dicroísmo observado que ocorre devido à presença das nanopartículas na sua composição da sua matriz de vidro: 66,2% de prata; 31,2% de ouro e 2,6% de cobre. A cor vermelha resulta da absorção de luz pelas nanopartículas de ouro (~520nm). A cor púrpura é observada quando a luz é absorvida devido a partículas maiores, sendo que a cor verde é conseguida através do espelhamento de luz por dispersões coloidais de partículas de prata, com dimensões maiores a 40nm. Durante a idade média já se conhecia o efeito da adição de partículas metálicas – incorporação de nanopartículas de ouro e prata de dimensões diferenciadas na matriz de vidro, na fabricação de vitrais coloridos. Na China antiga, além de vitrais, eram igualmente produzidas porcelanas com nanopartículas de ouro com dimensões entre os 20 60nm (LOOS, M. 2014, pp. 16-17).

Nos anos 30 do século XX, Von Hippon foi um dos primeiros a vislumbrar a síntese de dispositivos microscópicos manipulando átomos e moléculas (Régis, E. 1997 in Neto, O. &

Pacheco M. et al, 2012, p.19). O termo nanotecnologia foi no entanto apenas criado em 1957 por Norio Taniguchi. Nano, com origem etimológica no grego e significa anão, é um prefixo de unidade de medida na ordem de um bilionésimo de metro ($1/1.000.000.000 = 10^{-9}$) ou 1nm, que corresponde aproximadamente a 10 vezes o tamanho de um átomo individual, sendo o diâmetro do cabelo humano mil vezes maior que um nm, o que torna a sua visualização à vista desarmada impossível. A nanotecnologia é a compreensão e o controle da matéria à escala entre 1 e 100nm - ciência a nano-escala onde se manipula a matéria com atividades que envolvem a interação dos átomos e moléculas (Cristina, I. 2014, pp. 6-16). É contudo a partir da palestra proferida pelo físico Richard P. Feynman com o tema “*There’s plenty of room at the bottom*”, num encontro da Sociedade Americana de Física, no Instituto de Tecnologia da Califórnia-CalTech, realizado no ano de 1959, que a literatura em geral considera o início da era da nanotecnologia (TORGAL, F & JALALI, S. 2010, p 402).

Na atualidade e a nível global constata-se um aumento exponencial de publicação de obras e artigos científicos nesta área de investigação, como as obras referenciadas na bibliografia consultada e os artigos disponibilizados em formato eletrónico, nomeadamente no sítio do *Scientific Electronic Library* [em linha] em <http://www.scielo.br.>, ou pela Universidade do Minho, com artigos científicos apresentados no Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, em 3 volumes, [em linha] em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>.

A adição aos cimentos Portland de nanopartículas e nanotubos vem conferir um significativo aumento da resistência, elasticidade e da durabilidade às argamassas e betões (concreto). Quando adicionadas em materiais de revestimento, as nanopartículas proporcionam propriedades – entre outras, de autolimpeza, de capacidade bactericida e de purificação do ar, através da reação dos semicondutores incorporados.

Isolamentos térmicos de elevado desempenho e de baixa condutibilidade térmica, caixilhos com baixa condutibilidade térmica e vidros com transmitância variável serão um importante contributo com vista à eficiência energética do resultado final, resultante da aplicação das inovações que os nanomateriais já disponíveis, numa seleção apropriada nas intervenções em reabilitação.

As capacidades de autolimpeza dos materiais com propriedades fotocatalíticas, conhecidas desde a década de 60 do século XX, podem-se confirmar pela sua eficácia na obra da Igreja Dives in Misericórdia, Roma [Fig. 3], constatando-se 6 anos após a sua conclusão, apenas ligeiras diferenças de tom entre a cor do betão (concreto) nas suas superfícies interiores e exteriores (TORGAL, F & JALALI, S. 2010, p.416).



Figura 3: Igreja Dives in Misericórdia, Roma.Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IT-Rom-dives-in-mis-1.jpg>, acessado em 01-02-2015

Em resultado da associação com laboratórios e instituições universitárias, a indústria nacional já produz materiais nanoestruturados para aplicações várias na construção.

Liderado pela RECER - Indústria de Revestimentos Cerâmicos, S.A. o projeto SELFCLEA, em parceria com o Departamento de Engenharia da Cerâmica e do Vidro da Universidade de Aveiro, com trabalhos reconhecidos no desenvolvimento tecnológico com materiais fotocatalíticos, e o Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, com competências no desenvolvimento de novos materiais e ensaio de novos produtos para a construção sustentável, tem como objetivo a procura de novos revestimentos cerâmicos, visando a redução dos custos de manutenção de fachadas de edifícios, mitigando o recurso a trabalhos e produtos de limpeza tradicionais, reduzindo a concentração de poluentes gasosos na atmosfera, num importante contributo para uma redução da pegada ecológica (<http://www.pofc.qren.pt/media/noticias/entity/ja-ouviu-falar-de-superficies-ceramicas-autolimpantes>, acessado em 03.01.17).

2- Nanotubos de Carbono

Embora se tenha assistido de facto desde há milhares de anos e ao longo da história da evolução tecnológica, a necessidade de uso de materiais compósitos na construção, a tecnologia de incorporação de fibras de reforço numa matriz polimérica, só foi possível atingir a partir do início do século XX, com o desenvolvimento da indústria dos plásticos. A aplicação de FRP - *fiber reinforced polymers*, em reforço de um casco de um barco, em meados dos anos 30 do século XX, marca o início da utilização deste material compósito.

Desde então e na sua **fase inicial, os compósitos FRP estiveram associados a indústria militar, tornando-se assim e até à atualidade, os grandes impulsionadores do desenvolvimento de materiais compósitos** de alta resistência. Nos anos 50/60 do

século XX surge o interesse da indústria da construção civil, tendo sido construídos cerca de 70 edifícios protótipos, de concepção arquitetônica futurista, modular, em que o uso deste material compósito foi essencialmente no revestimento de fachadas (GONÇALVES, M. Clara & MARGARIDO, F. 2012, pp. 576 - 577).

Os nanotubos de Carbono, descobertos na Rússia no ano de 1952, são redescobertos no Japão nos anos 90 do século XX. Com uma resistência à tração 100 vezes superior à do aço, só o elevado custo ainda persistente no mercado inibe a sua vulgarização em utilizações correntes (TORRALBA, F & JALALI, S. 2010, p 405). Os nanotubos de uma única camada - milhares de vezes mais finos que um fio de cabelo possuem propriedades elásticas e alta resistência mecânica. Exibindo propriedades mecânicas extraordinárias, chegam a atingir uma resistência máxima de 200GPa (LOOS, M. 2014, p. 79). Além das propriedades mecânicas, os nanotubos possuem excelentes propriedades, entre outras, a da condutividade elétrica e térmica (LOOS, M. 2014, pp. 80-98).

Os nanotubos de Carbono (CNT), com uma configuração particularmente estável de uma estrutura hexagonal tipo favos de mel, desenvolvem-se ao longo de um tubo com apenas alguns nanômetros de espessura, cinco vezes mais estáveis do que o aço e duas vezes tão duros como um diamante, e apresentam-se numa gama de sistemas de construção leve, compostos com reforço CNT, de potencial óbvio para aplicação na construção. Têm vindo a ser disponibilizados no mercado de materiais para aplicação em obra (SASCHA, P. 2014, pp. 114-121).

Avanços tecnológicos recentes poderão beneficiar a participação do arquiteto no desenvolvimento e aplicação de materiais nanoestruturados: alumínio transparente; Pontos quânticos luminescentes; 3ª geração de energia fotovoltaica; elastômeros de cristal líquido, material que combina as propriedades de um elástico com as características dos cristais líquidos, que mudam de forma em resposta a níveis variáveis de luz ou temperatura.

Os nanotubos de carbono é outro nanomaterial de interesse para os arquitetos, com introdução de substanciais melhoramento na resistência à corrosão de ligas; ajudaram a remover as toxinas de perclorato, quando combinadas com nanoargilas, aumentando a resistência ao fogo dos plásticos. Outra das suas capacidades é a de possibilitar a formação de superfícies controláveis que podem alternar entre a superfície super hidrofóbica e a hidrofílica. É do conhecimento que os nanotubos de carbono nos oferecem uma excepcional capacidade de resistência, com a maior relação força/peso de qualquer outro material conhecido, estando atualmente a serem usados para reforçar polímeros, tacos de golfe, pranchas de surf, barcos, entre muitos outros materiais. Além constituírem nanocompósitos mais fortes, os nanotubos de carbono oferecem várias propriedades inovadoras que podem ser transferidas para uma ampla gama de aplicações. Dependendo da sua estrutura podem ser metálicos ou semicondutores.

Apesar de todas as suas extraordinárias vantagens, os arquitetos mantem-se relutantes à experiência com nanotubos e nanomateriais em geral, sendo uma das causas prováveis a esta situação o preço elevado do mercado. Verifica-se, no entanto, que o seu preço tem vindo a cair ao longo dos últimos anos, devendo a tendência de baixa de preço continuar com o surgimento contínuo de novas técnicas e produtos (SCHROPFER, T. 2011, pp. 139-140).

Resultando da combinação de dois ou mais materiais que, como anteriormente descrito, quando utilizados de forma isolada, não garantem por si só as condições enquanto

materiais adequados para a construção, mas quando associados podem vir a constituir um novo material, integrando as melhores propriedades de cada um dos materiais de origem. Os materiais compósitos de matriz polimérica são constituídos por duas fases:

1. Reforço com fibras, que vem conferir a maior parte da resistência e rigidez no desempenho mecânico.
2. Matriz polimérica, agente aglutinador do compósito, garantindo a distribuição de cargas entre as fibras bem como entre as cargas aplicadas e o próprio material compósito.

Tendo como objetivo a redução de custos, possibilitando ainda o melhoramento de propriedades específicas, bem como do seu processo de fabrico, a matriz polimérica dos materiais FRP, para além da resina, é usual recorrer -se à incorporação de material de enchimento – carga ou filler, e aditivos (SCHROPFER, T, p.579).

Sob o aspeto da sustentabilidade dos materiais FRP, à semelhança de outros materiais de construção, ainda não se encontra devidamente estudada, carecendo por isso de uma análise exaustiva do seu ciclo de vida. No entanto pode-se referir a título de exemplo que a energia necessária para a produção de compósitos constituídos por poliésteres incorporando fibras de vidro no seu reforço, requerem apenas 1/4 a 1/6 da energia necessária à produção de aço e alumínio. O mesmo não se poderá aplicar aos compósitos com fibras de carbono, uma vez que o seu processo de fabrico envolve um consumo energético muito superior. A grande vantagem em termos de sustentabilidade dos materiais FRP verifica-se na fase de serviço, dado que requerem não só uma menor manutenção como também apresentam uma maior longevidade, mesmo quando expostos em ambientes mais agressivos. Pela sua reduzida condutibilidade térmica, permitem uma poupança energética dos edifícios.

Suscetíveis à ignição, os FRP são combustíveis quando sujeitos a temperaturas entre os 300 e 500°C (Celsius), contudo quando submetidos a temperaturas entre os 100 e 200°C, não se verificam reduções significativas das suas propriedades mecânicas. Apesar destas desvantagens os FRP – ao contrário dos elementos em aço, são bons isolantes do calor, característica deveras importante na redução da propagação de um incêndio entre compartimentos, devendo, contudo se proceder à sua proteção para melhoramento do seu desempenho face ao fogo. Os FRP garantem ainda uma maior estanquicidade, constituindo por isso uma barreira mais eficaz contra chamas, fumo e gases tóxicos (Ibidem pp.597-599).

No que diz respeito de facto a intervenções de Reabilitação de estruturas de edifícios em Portugal, verifica-se um tímido mas gradual recurso à aplicação de Sistema CFRP, *Carbon Fiber Reinforcing Process*. Em forma de tecidos em fibra de carbono uni/bi/quadrifreccional, as lâminas e filamentos de carbono são utilizáveis em reforços e reparação pouco intrusiva de estruturas, resultando numa solução flexível, técnica e economicamente recomendável, numa alternativa às intervenções com recurso às técnicas e aos materiais convencionais, que implicam muitas vezes a deslocação de equipamento pesado para o estaleiro.

3- Revestimentos de Superfícies

A nanotecnologia como já se referiu é um tema que, pela sua importância e consequente reconhecimento do seu contributo numa perspectiva de sustentabilidade, é já considerada como uma nova revolução industrial, com fortes motivações socio económicas, sustentadas no elevado número de aplicações resultantes da manipulação controlada da matéria à escala nano, que tem vindo a constituir um impacto industrial evidente em todos os ramos da engenharia com repercussões na sociedade já a curto/médio prazo (SMALLEY, R. *in Nanotechnology is the builder's final frontier*, LOBO, R. 2009: p. 11).

Com multifuncionalidades, os materiais nanoestruturados, como sejam os sistemas especiais de revestimento que oferecem proteção permanente, assumem especial importância, podendo ser limpos pelo menos 15 vezes, sem qualquer redução na sua eficácia. Com base principalmente em organossilanos funcionais - materiais híbridos constituídos pela combinação dos componentes orgânicos e inorgânicos que, normalmente apresentam propriedades complementares, dando origem a um único material com propriedades diferenciadas daquelas que lhes deram origem (JOSÉ, N. & PRADO, L. 2005, pp. 281-288).

Os silanos são um grupo de substâncias, constituídos por uma estrutura de silício e de hidrogénio. Através do processo conhecido como silanização, unem-se quimicamente às superfícies dos materiais, aumentando a sua funcionalidade. Com as suas propriedades adesivas os organossilanos funcionam como um agente de ligação, aumentando a força das ligações entre os materiais poliméricos e de metais, vidro ou materiais minerais, verificando-se particularmente uma melhoria das propriedades de tração de materiais sob a influência da humidade.

Materiais de ligação como adesivos e selantes para a indústria da construção civil, hidrofóbicos e fáceis de limpar são ótimos quando aplicados em fachadas, garantindo ainda proteção contra a corrosão metálica das superfícies. Revestimentos antigraffiti para proteção e fachadas, vêm reduzir recursos públicos para a sua remoção, de elevados custos, e a título de exemplo só na Alemanha os valores aproximam-se de 500 milhões de euros (SASCH, P. 2014, p. 127).

Os revestimentos autolimpantes são deveras significativos na arquitetura, permitindo alargar o período dos ciclos de limpeza, diminuindo significativamente os custos de manutenção. Materiais com auto cura e de longa duração, antibacterianos, com enzimas funcionais, purificadores de superfícies, revestimento aquecidos, vidros de metal, acústicos, fluidos expandidos e materiais de gradiente funcional, fibras de polímeros e têxteis óticos, materiais de direcionamento da luz, revestimentos antirreflexo, LED e OLED, materiais luminescentes, luz interativa, células eletroquímicas emissoras de luz – LEC, painéis fotovoltaicos orgânicos-OPV e aerogel, acrescentam a longa lista de nanomateriais já disponíveis para aplicação na arquitetura e construção (SASCH, P. 2014, pp. 122 - 185).

A reação fotocatalítica de nanomateriais é a aplicação mais conhecida dos materiais nanoestruturados no setor da Construção Civil. Existem vários semicondutores com capacidades fotocatalíticas, contudo o mais utilizado é o Dióxido de Titânio (TiO₂) devido à sua baixa toxicidade e à sua estabilidade.

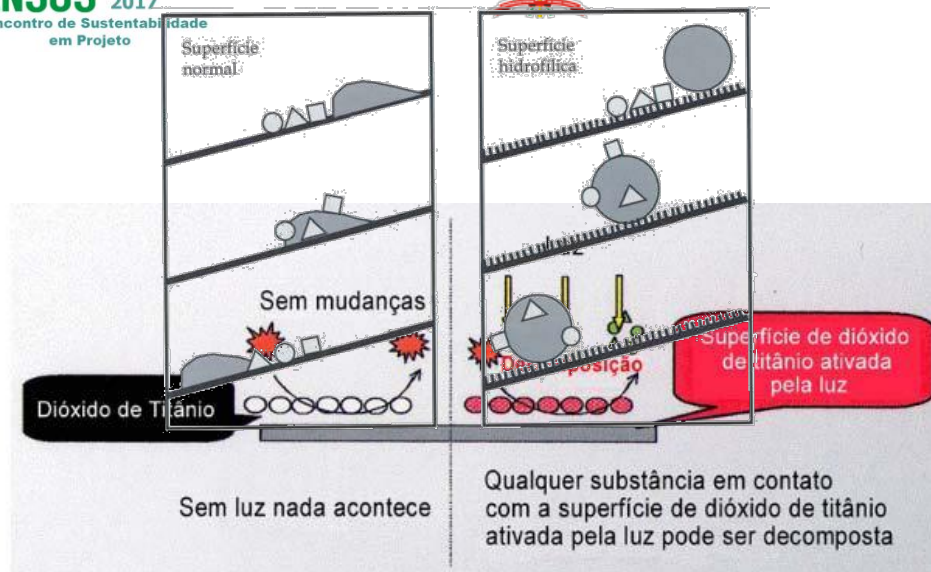


Figura 4: Mecanismo e função do Fotocatalisador. Fonte:
<http://www.fotocatalisador.com/br/fotocatalise.htm>, acessido em 20-06-2016

As nanopartículas de Dióxido de Titânio – TiO_2 , adicionadas a outros materiais, devido às suas propriedades de fotocatalise, fenómeno através do qual um composto, por efeito da luz e após ser excitado com energia de fotões, acelera a velocidade de uma reação química sem ser consumido (PARAMÉS, J. & BRITO, J. 2010, p.55-62), e que reagindo com a sujidade ou com outros compostos orgânicos e/ou inorgânicos, provocam a sua dissociação e a sua consequente desintegração, associado ao facto de que o TiO_2 quando sujeito à radiação ultra violeta [Fig. 4], reduz o ângulo de atrito interno da água, tornando a superfície hidrofóbica, conferindo um aumento das propriedades de autolimpeza [Fig. 5], e mantendo a sua superfície limpa durante mais tempo, dispensa assim o consumo de outros recursos energéticos, aumentando a sua sustentabilidade.

Desde há muito que se conhecem as capacidades hidrofóbicas de superfícies, com alguns exemplos da própria natureza, como acontece com a superfície da flor de lótus, em que a sua capacidade de autolimpeza se deve à composição da sua microestrutura.

A revista Nature publicou no ano de 1972 um artigo onde estão bem patentes no número de citações das potencialidades associadas à fotocatalise, além de um elevado número de artigos científicos de investigações nesta área, assistindo-se entre os anos 1997 e 2007 ao aumento exponencial de artigos científicos sobre esta área de investigação (TORRALBA, F. & JALADI, S. p.413).

De importância inquestionável, esta nova tecnologia disponibiliza aplicações várias, sendo as de maior utilidade as que se apresentam em quadro sucinto, como sejam: tratamento de águas; aplicações anti embaciamento; redução da poluição do ar e de autolimpeza.

A adição de TiO_2 em argamassas de gesso - 10% do seu volume, provoca a degradação de vários poluentes atmosféricos, passados poucos minutos de contacto, podendo ser utilizada em revestimentos exteriores e interiores, ficando apenas condicionada a sua eficácia à intensidade de radiação ultra violeta a que esteja sujeita, conseguindo-se reduções de 1/3 na concentração de Compostos Orgânicos Voláteis - COV's (Ibidem, pp. 419-428).

Outra das aplicações de relevante importância é a aplicação de materiais nanoestruturados com propriedades fotocatalíticas para destruição de fungos e bactérias.

São os radicais hidroxilos OH os principais responsáveis pela capacidade bactericida na reação fotocatalítica, possuindo uma capacidade de destruição entre 1.000 a 10.000 vezes superior à aplicação de desinfetantes químicos (CHO *et al*, in TORGAL, F. & JALADI, S. 2010, pp. 428-433).

Com a aplicação de óxidos de estanho (SnOx), e de índio (InOx), enquanto materiais condutores e transparentes, conseguem-se obter a otimização dos valores de condutividade elétrica, mantendo -se a transparência no visível, com aplicações várias como monitores de ecrã plano, células solares de películas finas e de desembaciador transparente (PALMEIRA, P. 2011, p.19).

4- Considerações finais

A informação seletiva sobre nanomateriais disponibilizados no mercado, tem como objetivo a produção de um modelo base, que de uma forma sucinta caracterize as potencialidades disponibilizadas pela Nanociência, que proporcione na área da arquitetura e da construção, em resultado da aplicação de materiais nanoestruturados nas operações de reabilitação em património arquitetónico, uma intervenção mais sustentável. Pretende-se que este estudo possa vir a servir como um documento de apoio em futuros trabalhos sobre a temática.

A análise do trabalho ora apresentado permite-nos concluir que, não obstante serem inúmeras as oportunidades comerciais potencializadas pela Nanociência, a produção de nanomateriais, apesar de possuírem comprovadas propriedades substancialmente melhoradas em comparação com materiais convencionais, não acompanha a publicação de inúmeros artigos científicos sobre o tema. Contudo é expectável que num curto espaço de tempo esta situação seja radicalmente alterada, não só com a passagem da fase experimental em que muitos materiais se encontram, como também a vulgarização do uso de materiais Nanoestruturados na indústria da construção civil, cuja adaptação às novas tecnologias urge acontecer.

Divulgar e sensibilizar junto dos arquitetos, engenheiros e demais projetistas para a importância que os materiais compósitos nanoestruturados representam no âmbito da sustentabilidade, para o humanidade e para o meio ambiente, assim como apresentar aos promotores privados e/ou às entidades públicas proprietárias do património arquitetónico, as vantagens económicas que a médio/longo prazo resultantes do uso destes novos materiais, será um contributo para que uma nova tendência se afirme num futuro próximo, ou seja a aplicação alargada de materiais nanoestruturados em obras de reabilitação do edificado, numa intervenção que se quer mínima, pouco intrusiva, garantindo o princípio da reversibilidade, de forma a verificar o estabelecido nas principais cartas internacionais sobre conservação e restauro do Património, surgindo como um princípio basilar das recomendações do ICOMOS.

Com as comparações de resultados de trabalhos publicados que suportam a nossa pesquisa, pretendeu-se o cruzamento de uma informação mais abrangente sobre o tema, visando o apuramento dos conceitos e ideias principais da tese em desenvolvimento, possibilitando uma seleção restringida ao que realmente interessa à investigação mais profunda que se pretende continuar. Sendo um tema em constante evolução, resultando no aumento exponencial a nível global onde surgem novos materiais nanoestruturados com novas potencialidades, na consulta realizada, com recurso a referências recentemente

publicadas sobre o assunto, deu-se preferência - e por esta ordem, a artigos científicos, livros, teses, dissertações e conclusões de congresso ou de conferências internacionais.

Referências

- GONÇALVES, M. Clara & MARGARIDO, F. (2012). *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*. Lisboa: IST Press.
- LOOS, Marcio (2014). *Nanociência e nanotecnologia: compósitos termofixos reforçados com nanotubos de carbono*. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda.
- MOORE, G. (2010). *Nanotecnologia em embalagens*. S. Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda.
- NETO, O. & PACHECO, M. et al (2012). *Nanotecnologia computacional inteligente: concebendo a engenharia em nanotecnologia*. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda
- SASCHA, P. (2014). *Material Revolution II – New sustainable and multi-purpose materials design and architecture*. Basel: Birkhäuser.
- SCHROPFER, T. (2011). *Material Design – Informing Architecture by Materiality*. Basel: Birkhäuser.
- SCHUZ, P. (2009). *A encruzilhada da nanotecnologia – Inovação, tecnologia e riscos*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent casa editorial ltda.
- TIRONE, L. (2008). *Construção Sustentável*. Sintra: Tirone Nunes, SA.
- TORGAL, F & JALALI, S. (2010). *A sustentabilidade dos Materiais de Construção*. Vila Verde: Universidade do Minho.

Bibliografia consultada

- AMANDO, M. et al (2015). *Construção Sustentável – Conceito e Prática*. Casal de Cambra: Caleidoscópio.
- APPLETON, J. (2011). *Reabilitação dos Edifícios – Patologias e Tecnologias de Intervenção*. Amadora: Edições Orion.
- BRANDI, C. (2006) *Teoria do restauro*. Amadora: Edições Orion.
- BORGES, I., GOMES, T. & Engelmann, W. (2014). *Responsabilidade civil e nanotecnologias*. S. Paulo: Editora atlas S.A.
- CHOAY, F. (2010). *Alegoria do Património*. Coimbra: Edições 70 Lda.
- CHOAY, F. (2011). *As Questões do Património*. Lisboa: Edições 70 Lda.
- COIAS, V. (2007). *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*. Lisboa: Argumentum/Gecorpa
- CRISTINA, I. et al (2014). *Responsabilidade civil e nanotecnologias*. S. Paulo: Editora Atlas S.A.
- ENGELSMANN, S. et al (2010). *Plastics in architecture and construction*. Basel: Birkhäuser.

- LOBO, R. (2009). *Nanotecnologia e Nanofísica* (Conceitos de Nanociência Moderna). Lisboa: Escolar Editora
- LOPES, F. & CORREIA, M. (2004). *Património Arquitectónico e Arqueológico – Cartas, Recomendações e Convenções Internacionais*. Lisboa: Livros Horizonte
- LIMA, E. (2014) *Nanotecnologia: biotecnologia e novas ciências*. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda.
- MASS, W. et al (2015). *Barba - Live in the Fully Adaptable Environment*. Amesterdam: The Why Factory.
- MOORE, G. (2010). *Nanotecnologia em embalagens*. S. Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda.
- MOTRO, R. et al (2013). *Flexible Composite Materials – In architecture, construction and interiors*. Basel: Birkhãuser.
- MOUSSA, S. (2013). *Nanotecnologia*. S. Paulo: Edição do autor.
- RÓZ, A. et al (2015). *Técnicas de nanocaracterização: princípios e aplicações*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda.
- SCHUZ, P. (2009). *A encruzilhada da nanotecnologia – Inovação, tecnologia e riscos*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent casa editorial ltda.

Artigos em formato eletrônico

- ALVES, J. et al (2012) *Síntese de nanotubos de carbono a partir do bagaço da cana-de-açúcar*. [em linha] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672012000300006, acessido em 30-08-2015.
- AZEVEDO, A. (2014). *A Importância da Cor na Reabilitação Sustentável das Construções Materiais de Construção Sustentáveis*, Volume 2: pp.733-741). [em linha] <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31159>, acessido em 30-08-2015.
- GOMES, M. 2014, in *Obras Públicas Sustentáveis*, *Materiais de Construção Sustentáveis*, Volume 2: pp.523-531). [em linha] <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31159>, acessido em 30-08-2015.
- JOSÉ, N. & PRADO, L. 2005, *Materiais Híbridos Orgânico-Inorgânicos: Preparação e Algumas Aplicações*. *Química Nova*, Vol. 28, Nº. 2, pp. 281-288. [em linha] em <http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n2/23651.pdf>, acessido em 30-08-2015.
- LUCAS, S. et al (2014) *Novos materiais de construção com tecnologias avançadas*. *Materiais de Construção Sustentáveis*, Volume 1: pp.71-77). [em linha] em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31367>, acessido em 30-08-2015.
- MATOS, B. et al (2014) *A relação entre as técnicas, materiais e conforto ambiental na concepção da arquitetura Luso-Brasileira*. *Materiais de Construção Sustentáveis*, Volume 1: pp.115-127). [em linha] em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31367>, acessido em 30-08-2015.

NETO, E. et al (2014). *Efeitos da proteção antigraffiti na durabilidade do betão*. Materiais de Construção Sustentáveis, Volume 2: pp.449-459). [em linha] em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31159>, acedido em 30-08-2015.

PAPPALARDO, J. et al (2014) *Estudo sobre vigas de betão armado reforçadas com tecidos de fibra*, Materiais de Construção Sustentáveis, Volume 2: pp.709-719). [em linha] <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31159>, acedido em 30-08-2015.

PARAMÉS, J. &, Jorge de Brito, J. (2010). *Materiais de construção nanotecnológicos de auto-limpeza*, disponível em Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.15, p.55-62, Abril, 2010. [em linha] em http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art6_N15.pdf, acedido em 30-08-2015

TORGAL, F. (2010). *Considerações sobre a sustentabilidade dos materiais de construção*. http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/13957/1/CM_Materiais_2010.pdf, acedido em 30-08-2015.

LUCAS, S. et al (2014). *Novos materiais de construção com tecnologias avançadas*, Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis. [em linha] em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31378>