

MATERIAIS BIOMIMÉTICOS:

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO INSPIRADOS NA NATUREZA

F.Pacheco Torgal

Engenheiro Civil, Investigador do C-TAC (Sustainable Construction Group), Universidade do Minho

Said Jalali

Engenheiro Civil, Professor Catedrático no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho

As exigências associadas ao desenvolvimento sustentável conduzem-nos à admissão da insustentabilidade dos materiais de construção correntes. A única forma de atalharmos caminho na rápida transição para um paradigma construtivo verdadeiramente sustentável, poderá passar pela replicação das soluções aperfeiçoadas pela natureza ao longo de milhões de anos. O presente artigo aborda investigações levadas a cabo no domínio dos materiais de construção inspirados na natureza.

Reconhecendo a evidência

Embora nos últimos dois séculos o desenvolvimento dos sistemas mecanizados e todo o processo de industrialização que se lhe seguiu tenha criado no homem uma sensação de superioridade face à natureza, o reconhecimento da evidência do inverso chegou rapidamente com uma factura a pagar em termos de poluição que se revela incomportável e cujas consequências poderão por em causa a própria existência humana. Muito pelo contrário a natureza aperfeiçoou ao longo de 3,8 mil milhões de anos, materiais e “tecnologias” com desempenho excepcional e inteiramente bio-degradáveis. No seu livro “Biomimicry, Innovation inspired by nature” [1], prémio ciência e inovação das Nações Unidas em 2009, Benyus, define biomimetismo como o reconhecimento da natureza como modelo a seguir, superioridade essa assente em 9 princípios fundamentais:

1. A natureza apenas necessita de luz solar
2. A natureza só usa a energia que efectivamente necessita
3. Na natureza forma e função são indissociáveis
4. A natureza recicla tudo
5. A natureza compensa a cooperação
6. A natureza assenta na diversidade
7. A natureza implica níveis de especialização localizados
8. A natureza impede a criação de excessos
9. A natureza canaliza “o poder dos limites”

Segundo esta bióloga a observação da natureza permite a busca de inúmeras soluções para os problemas do mundo moderno [2,3]. Não admira por isso constatar-se que nos últimos anos comunidade científica tenha vindo precisamente a debruçar-se nesta direcção, estudando e comparando soluções naturais com o seu equivalente produzido pelo homem. A título de exemplo a concha de Abalone, sabe-se agora, é constituída por camadas com uma espessura de 0,2mm, sendo cada uma delas constituída por sua vez por uma espécie de argamassa de cristais de carbonato de cálcio, com uma espessura de 0,2mm (Figura 1), servindo uma proteína como ligante de todo o conjunto. O resultado final é um compósito que possui uma resistência 3000 superior à resistência dos cristais de carbonato de cálcio simples [4,5], o qual permite pistas para o desenvolvimento de materiais compósitos amigos do ambiente.



Figura 1: Concha de Abalone: fotografia e microestrutura [5]

Alguns mexilhões e até mesmo cracas [6-8], conseguem produzir uma cola natural que lhes permite manterem uma elevada aderência a rochas submersas e cuja eficácia nada fica a dever às colas sintéticas. A vantagem neste caso radica inteiramente no facto da mesma não padecer dos inconvenientes das últimas, já que em termos de composição, as colas sintéticas são na sua maioria à base de epoxi, de melamina-urea-formaldeido, fenol ou solventes orgânicos. E as colas à base de epoxi são materiais tóxicos e os trabalhadores expostos a este material apresentam elevadas taxas de desenvolvimento de eczemas e dermatites, sendo ainda responsáveis pelo desenvolvimento de alergias e pelo desenvolvimento de cancro [9]. Já os compostos de melamina-urea-formaldeido são igualmente tóxicos, defendendo alguns que possuem potencial carcinogénico [10]. Um outro exemplo da eficácia das soluções naturais vem dos fios de teia de aranha (Figura 2), que excedem a resistência à tracção do aço em termos de rácio resistência/massa. E muito embora não consigam igualar o desempenho das fibras de KEVLAR em termos de resistência à tracção, apresentam uma energia de ruptura superior (Tabela 1). E enquanto o aço de alta resistência atinge a ruptura para uma extensão inferior a 1%, o fio de teia de aranha consegue uma extensão de 30% antes de atingir a ruptura. E é esta propriedade que lhe permite absorver a elevada energia associada ao impacto provocado por um insecto durante o voo e tudo isto

recorrendo somente a substâncias bio-degradáveis e através de um processo que está anos-luz dos processos industriais necessários para a produção de aço ou outras fibras artificiais.

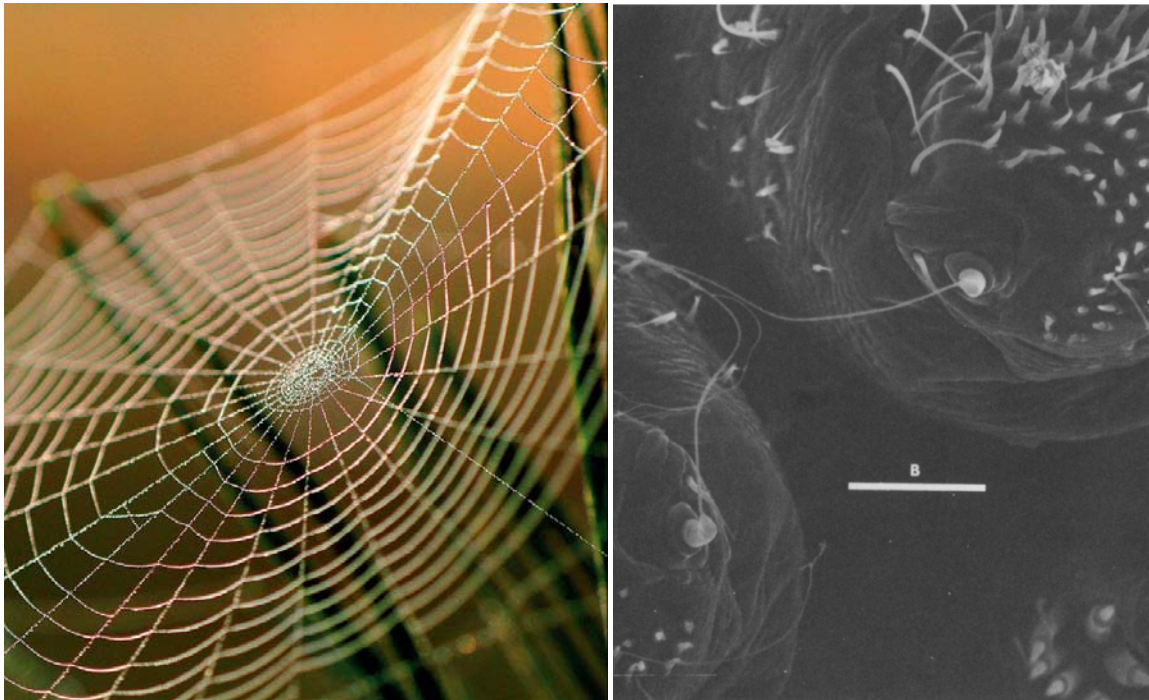


Figura 2: Teia de aranha: fotografia e microestrutura das glândulas de produção de fio de teia de aranha

Tabela 2: Comparação das propriedades mecânicas do fio de teia de aranha com materiais feitos pelo homem [11].

Material	Resistência à tração (N/m^2)	Energia de ruptura (Jkg^{-1})
Fio teia aranha	1×10^9	1×10^5
Aço de alta resistência	2×10^9	1×10^3
KEVLAR	4×10^9	3×10^4

Mimetizando corais para produzir “cimento”

Os corais utilizam água do mar para produzir cristais de carbonato de cálcio, aragonite, sendo que o processo de calcificação que está na origem da formação de corais, é bastante complexo, estando dependente de vários factores, sendo o principal a fotossíntese [12,13]. Muito recentemente uma empresa Norte-Americana de nome Calera revelou ter desenvolvido um processo de replicar a formação de corais para produzir “cimento” a partir de dióxido de carbono e água do mar [14,15]. Contudo as informações relativas ao processo tecnológico não foram ainda disponibilizadas, bem como não se conhecem as características físicas, químicas e mecânicas dos cristais de aragonite artificial, supostamente produzidos pela empresa Calera. Razão por que se justifica a colocação da

palavra cimento entre aspas, pois que pouco ou nada se sabe sobre as características do mesmo. Somente que o processo, que já está a ser utilizado numa instalação industrial experimental, junto à central termoelétrica de Moss Landing (Califórnia) utiliza o dióxido de carbono gerado por aquela central para produzir “cimento”. Certo é, que investigações posteriores compararam aragonite produzida artificialmente com aragonite natural, concluindo que a primeira é bastante mais solúvel que a primeira, assim comprovando a dificuldade da replicação do processo [16].

Flor de lótus: lições sobre auto-limpeza

A capacidade de auto-limpeza é outra das características dos sistemas naturais, como acontece por exemplo com as folhas da flor de lótus (Figura 3), cujo microestrutura se desenvolveu para providenciar esse efeito [17,18].

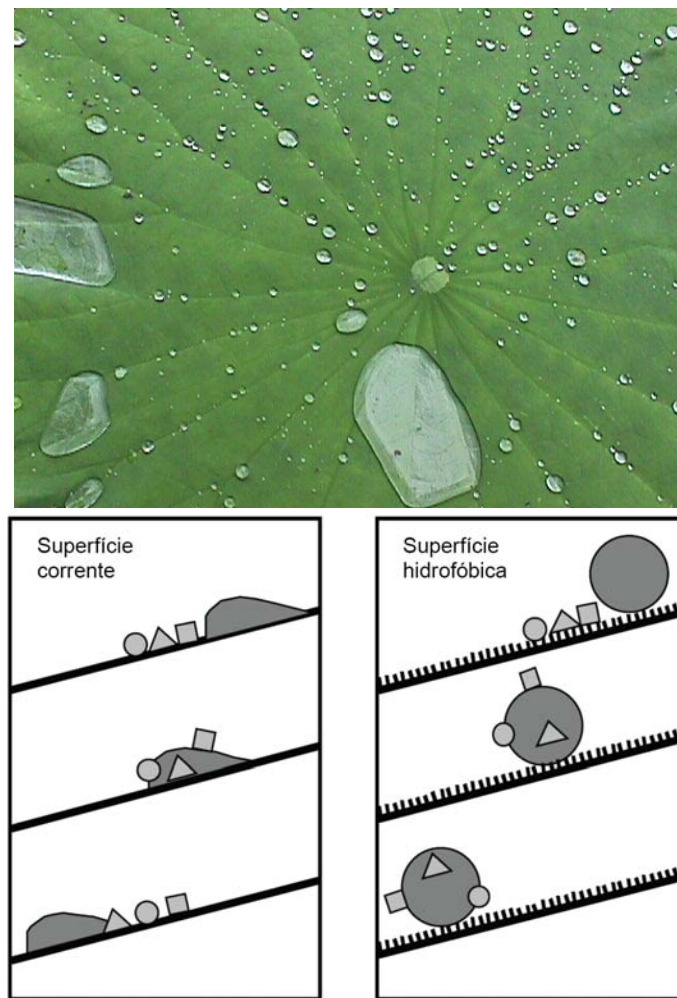


Figura 3: Em cima folha da flor de lótus; embaixo o efeito lótus [17]

Foi provavelmente inspirado no exemplo da flor de lótus, que na década de 60 se desenvolveram os primeiros materiais com capacidade de auto-limpeza, recorrendo para o efeito as capacidades fotocatalíticas dos materiais semi-condutores [19]. As capacidades fotocatalíticas daqueles materiais levam a que durante o processo de absorção dos raios ultravioletas da luz solar (320-400nm), conjuntamente com a presença de moléculas de água, haja formação de substâncias que possuem um forte poder oxidante (radicais hidróxilos (OH) e iões superóxidos (O₂-), estas por sua vez vão reagir com a sujidade ou outros compostos orgânicos e inorgânicos, provocando a sua dissociação e assim contribuindo para a sua desintegração. A este efeito oxidante junta-se o facto dos semicondutores quando sujeitos à radiação ultravioleta reduzirem o ângulo de atrito interno da água, tornando a superfície do material hidrofílica, o que contribui para o aumento do efeito-autolimpante. Em 1997 Cassar & Pepe [20] patentearam um bloco para pavimento com características de auto-limpeza (Tabela 2), mas a utilização de um betão com capacidades de auto-limpeza, aplicado num edifício só veio a ter lugar em 2003 na Igreja “Dives in Misericórdia” (Figura 5). Este edifício é composto por várias “velas”, constituídas por sua vez, por 346 blocos em betão à vista feito com cimento branco contendo partículas nanométricas de TiO₂ (ligante 380 kg/m³ e A/L=0,38) pré-fabricados e pós-tensionados [21]. Observações levadas a cabo 6 anos após a sua construção revelam apenas ligeiras diferenças entre a cor branca dos betões a nível interior e exterior [22].

Tabela 2: Patente para um bloco com características de auto-limpeza [20]

Nome da patente	Bloco de pavimento com um ligante hidráulico e partículas fotocatalíticas
Área da invenção	Ligante hidráulico pré-doseado com composição otimizada para manter o brilho e a cor original
Princípio/especificações	<p>Uso de de partículas foto-catalíticas com capacidade de reduzir poluentes atmosféricos</p> <p>Utilização de um catalizador capaz de oxidar na presença de luz e substâncias poluentes para fabrico de um ligante utilizado em blocos de pavimento capaz de manter o brilho e cor original</p> <p>Utilização de uma mistura pré-doseada de ligante com foto-catalizador capaz de oxidar na presença de luz e substâncias poluentes para fabrico de blocos de pavimento capazes de manter o brilho e cor original</p>
Ligante	Cimento (branco, cinza ou pigmentado), cal
Fotocatalisador	<p>TiO₂ ou precursor do tipo anatase</p> <p>TiO₂ do tipo anatase com 25%,50% ou 70%</p> <p>Mistura de rutilo e anatase (70:30)</p> <p>TiO₂ dopado com um ou mais átomos diferentes de Ti</p> <p>TiO₂ dopado com um ou mais átomos de (Fe, Mo, Ru, Os, Re, V, Rh</p> <p>Foto-catalisadores do grupo (WO₃), (SrTiO₃), (CaTiO₃)</p>
Quantidade de fotocatalisador	<p>0,01-10% por massa</p> <p>0,1% por massa de ligante</p> <p>0,5% por massa de ligante</p>



Figura 5: Igreja “Dives in Misericórdia”, Roma

As propriedades fotocatalíticas dos materiais semi-condutores permitem não só auto-limpeza como a redução dos poluentes atmosféricos e a destruição de fungos e bactérias, contudo investigações recentes apontam para o facto das nanopartículas, provocarem sintomas similares aos provocados pelas fibras minerais (amianto) [23]. Já outros apontam para o surgimento de um novo problema que passa pelo destino a dar aos nano-resíduos [24]. Um tal panorama mostra até que ponto o exponencial crescimento tecnológico da civilização humana, está longe de conseguir replicar a perfeição dos sistemas naturais, sendo que nunca como agora estivemos tão perto de perceber as vantagens intrínsecas dos mesmos. E para esse efeito muito contribuíram os desenvolvimentos ao nível da microscopia electrónica, microscopia de força atómica (AFM) e da nanotecnologia, o que por um lado mostra o paradoxo implícito no facto de precisarmos de cada vez mais tecnologia, para percebermos as suas limitações face à natureza.

Bibliografia:

[1] BENYUS (2002) *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. Perennial, New York.

[2] <http://www.biomimicryinstitute.org/>

[3] <http://asknature.org/>

[4] LI, X.; CHANG, W.; CHAO, Y.; WANG, R. ; CHANG, M. (2004) *Nanoscale structural and mechanical characterization of a natural of a natural nanocomposite material: The shell of red abalone*. Nano Letters Vol. 4, pp.613-617.

[5] MEYERS, M.; LIM, C.; NIZAM, B.; TAN, E.; SEKI, Y.; MCKITTRICK, J. (2009) *The role of organic intertile layer in abalone nacre*. Materials Science Engineering C29, pp.2398-2410.

- [6] HEDLUND, J.; BERGLIN, M.; SELLBORN, A.; ANDERSSON, M.; DELAGE, L.; ELWING, H. (2004) Marine adhesives as candidates for new biomaterial. Transactions - 7th World Biomaterials Congress, pp. 1650.
- [7] KHANDEPARKER, L.; CHANDRASHEKHAR, A.(2007) Underwater adhesion: The barnacle way. International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol.27, pp.165-172.
- [8] KAMINO, K. (2010) Molecular design of barnacle cement in comparison with those of mussel and tubeworm. Journal of Adhesion, Vol. 86, pp.96-110.
- [9] TSAI,W. (2006) *Human health risk on environmental exposure to bisphenol-A: A review*. Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews, Vol. 24, pp.225-255.
- [10] ZHANG, L.; STEINMAUS, C.; EASTMOND, D.; XIN, X.; SMITH, M. (2008) *Formaldehyde exposure and leukemia: A new meta-analysis and potential mechanisms*. Mutat. Res, Vol. 681, pp. 150-168.
- [11] GOSLINE, J.; DEMONT, M.; DENNY, M. (1986) The structure and properties of spider silk. Endeavour, Vol.10, pp.37-43
- [12] BARNES, D. (1970) *Coral skeletons: An explanation of their growth and structure*. Science, Vol. 170, pp.1305-1308.
- [13] HOLCOMB, M. (2010) *Coral calcification: insights from inorganic experiments and coral responses to environmental variables*. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology-MIT –Woods Hole Oceanographic Institution-WHOI.
- [14] MITCHELL, S. - *Capturing carbon*. Concrete Construction-World of Concrete 2009; 54:104.
- [15] GEYER, R.; DEL MAESTRO, C.; ROHLOFF, A. - *Greenhouse gas footprint analysis of the Calera process*. University of California, California; 2009.
- [16] HOLCOMB, M.; COHEN, A.; GABITOV,R.; HUTTER, J. (2009) *Compositional and morphological features of aragonite precipitated experimentally from seawater and biogenically by corals*. Geochimica et Cosmochimica Acta 73, pp.4166-4179.
- [17] BENEDIX, R.; DEHN, F.; QUAAS, J.; ORGASS, M. (2000) *Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning building materials*. Lacer 2000; 5: 158-168.
- [18] KOCH, K; BARTHLOTT, W.- *Superhydrophobic and superhydrophilic surfaces: An inspiration for biomimetic materials*. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 2009; 367: 1487-1509.
- [19] FUJISHIMA, A.; HONDA, K. (1972) *Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode*. Nature Vol.238, pp.37-38.
- [20] CASSAR, I.; PEPE, C. (1997) *Paving tile comprising an hydraulic binder and photocatalytic particles*. EP-patent 1600430A1, Italcementi, Italy.
- [21] CASSAR, L.; PEPE, C.; TOGNON, G.; GUERRINI, G.; AMADELLI, R. (2003) *White cement for architectural concrete, possessing photocatalytic properties*. 11 th International Congress on the Chemistry of Cement, Durban.
- [22] CHEN, J.; POON, C. (2009) *Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications*. Building and Environment Vol.44, pp.1899-1906.
- [23] GRASSIAN, V.; O' SHAUGHNESSY, P.; ADAMCAKOVA-DODD, A.; PETTIBONE, J.; THORNE, P. (2007) *Inhalation exposure study of titanium dioxide nanoparticles with a primary particle size of 2 to 5 nm*. Environmental Health Perspectives Vol.115, pp.397-402.
- [24] BYSTRZEJEWSKS-PIOTROWSKA, G.; GOLIMOWAKI, J.; URBAN, P. (2009) *Nanoparticles: Their potential toxicity, waste and environmental management*. Waste Management Vol.29, pp.2587-2595.