

Compósitos cimentícios com fibras vegetais: um contributo para a sustentabilidade da construção

Por F. Pacheco Torgal e Said Jalali

O presente artigo analisa o desempenho dos materiais compósitos contendo fibras vegetais. Nele são abordadas as propriedades e a durabilidade das fibras e quais os tratamentos que potenciam o seu desempenho. É ainda analisada a compatibilidade entre o cimento e as fibras vegetais e de que forma estas influenciam algumas propriedades da matriz cimentícia, como seja o tempo de presa ou as características da zona da interface entre estes dois materiais.

Introdução

A utilização de materiais de construção de origem renovável é considerada em termos gerais como uma opção indispensável para que a indústria da construção se possa tornar mais sustentável. A referida premissa não pode contudo ser tomada de modo absoluto porquanto nem todas as situações envolvendo o uso de madeiras ou outras espécies vegetais são à partida isentas de qualquer impacto ambiental. Encontram-se neste caso quer a utilização de madeiras que tenham elevados impactos ambientais por via do seu transporte a longas distâncias ou aquelas que usem elevadas quantidades de fertilizantes, pesticidas ou fungicidas, ou ainda que impliquem a destruição de ecossistemas durante a fase de crescimento [1,2]. Um dos piores exemplos de um desastre ecológico deste tipo pode encontrar-se na destruição de florestas tropicais inteiras para produção intensiva de espécies vegetais destinadas aos bio-combustíveis, como acontece na região da Sumatra, Bornéu e Malásia, onde nos últimos anos milhões de hectares de floresta tropical foram arrasados para a produção de óleo de palma, pondo em causa a sobrevivência de centenas de espécies nas quais se incluem alguns mamíferos como elefantes, tigres,

rinocerontes e orangotangos. Considerações similares podem também tecer-se sobre a destruição da floresta tropical para produção de madeiras de utilização industrial ou o abate de madeiras nobres a uma taxa superior à sua renovação natural. Retirando as situações atrás relatadas e desde que a madeira em causa provenha de florestas certificadas, pode sem risco dizer-se que o ressurgimento de um material que antes era indispensável na indústria da construção e que estranhamente o deixou de ser, perdendo mercado para materiais como o aço e o betão, não pode deixar de ser encarado com certo optimismo de um ponto de vista ambiental. Uma outra possibilidade interessante e mais versátil, relativa ao reaproveitamento de madeira de pinho na produção de materiais para a indústria da construção, prende-se com a produção de painéis de matriz cimentícia contendo fibras de madeira de pinho. Aliás, neste contexto é necessário ter presente que devido ao seu risco carcinogénico [3,4], as Directivas 83/477/EEC; 91/382/EEC; 98/24/EC; 2003/18/EC e 2007/30/EC proibiram a produção de compósitos à base de cimentos reforçados com silicatos fibrosos (amianto). Nessa sequência, as

fibras minerais têm vindo a ser substituídas por fibras sintéticas como o PVA ou o polipropileno na produção de compósitos cimentícios pelo método Hatscheck. (Figura 1). Trata-se de um processo industrial que representa 85% da produção de compósitos de fibro-cimento a nível mundial. Contudo e tendo em conta que a produção das fibras sintéticas implica a utilização de compostos de fenol como anti-oxidantes e de aminas como estabilizadores de ultravioletas e ainda outros aditivos como retardadores de ignição, dificilmente se pode considerar que as alternativas às fibras de amianto não apresentam também desvantagens evidentes do ponto de vista da protecção do ambiente e da saúde pública. Esta situação representa assim uma boa oportunidade para a utilização de fibras vegetais na produção de materiais compósitos de base cimentícia. Não só porque as mesmas apresentam características de resistência bastante significativas, são bastante mais baratas e, acima de tudo, têm menor impacto ambiental, isto mesmo se levarmos em linha de conta que algumas delas necessitarão de tratamentos químicos prévios.

Outra variante relativa à utilização de materiais compósitos à base de ci-

mento e fibras vegetais, já utilizada em Portugal há algum tempo, passa pela produção de painéis contendo fibras de madeira de pinho, com espessuras bastante superiores às utilizadas no processo Hatscheck e que podem ir de 8 até 32 mm.

Características e Propriedades das Fibras

As fibras vegetais são compósitos naturais com uma estrutura celular constituída por camadas de celulose, hemicelulose e lenhina. A celulose é um polímero natural composto por moléculas de glucose e a semicelulose é um polímero composto de vários polissacarídeos; já a lenhina é uma mistura heterogénea de polímeros aromáticos e monómeros de fenilpropano. Apesar das fibras vegetais possuírem uma elevada resistência à flexão, possuem um baixo módulo de elasticidade, ainda assim comparam de forma favorável com as fibras sintéticas (Tabela 1).

Uma das desvantagens relacionadas com o uso de fibras vegetais prende-se com o facto das suas propriedades não apresentarem um padrão regular e homogéneo, o que poderá originar um elevado grau de dispersão das propriedades dos compósitos cimentícios contendo estas fibras [7]. Alguns estudos comprovam que o pré-tratamento das fibras vegetais contribui para o aumento do desempenho de compósitos cimentícios reforçados com aquelas fibras. O processo de *pulping* é um dos tratamentos utilizados para aumentar a aderência entre as fibras e a pasta de cimento e também a resistência das mesmas à alcalinidade daquele meio [8]. Savastano *et al.* [8] referem que alguns tratamentos são responsáveis por um melhor desempenho mecânico das fibras que outros.

A Tabela 2 apresenta algumas condições utilizadas no tratamento *pulping* de fibras de sisal e de bananeira. O tratamento das fibras pode ser efectuado

através de processos químicos (*kraft*), que envolvem o seu cozimento com soluções de hidróxidos e sulfitos de sódio, ou por meios mecânicos. Os últimos têm um custo que é cerca de metade dos primeiros e não necessitam de tratamento de efluentes. Alguns autores sugerem a utilização de agentes à base de organosilanos como forma de reduzir a elevada absorção de água das fibras vegetais [9].

Mais recentemente Joaquim *et al.* [10] compararam o desempenho de compósitos de base cimentícia reforçados com fibras de sisal, tratadas respectivamente pelo processo *pulp* e através de agentes à base de organosilanos, concluindo que o melhor desempenho era obtido pelos primeiros. Arsene *et al.* [11], referem que as fibras tratadas através de um processo de pirólise conseguem ver a sua resistência aumentada em cerca de 300%.

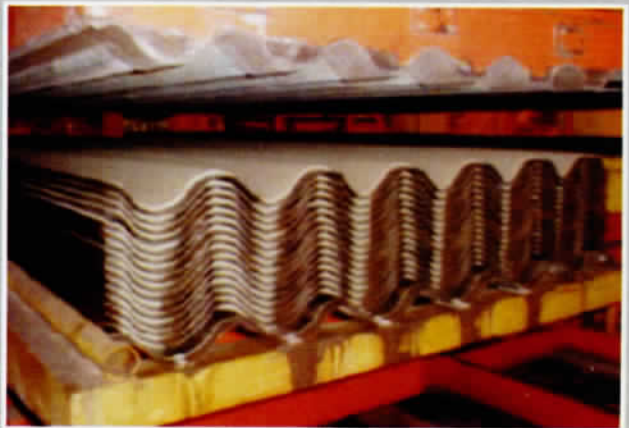


Figura 1 - Produção de materiais compósitos de fibrocimento pelo processo Hatscheck [5]

Pré-fabricados com Fibras**Matriz cimentícia**

Savastano *et al.* [12] referem que a utilização de fibras não tratadas em matrizes cimentícias é acompanhada da libertação de compostos ácidos que atrasam o tempo de presa. Outros autores [13,14] também confirmam a possibilidade dos açúcares das fibras poderem impedir a hidratação do cimento. A presença de fibras vegetais pode ser responsável por um aumento do tempo de presa de aproximadamente 45 minutos [15].

A explicação prende-se com o facto da pectina, um polímero natural, ter capacidade para reagir com o cálcio, impedindo a formação de compostos de silicatos de cálcio hidratados (CSH). Boustingorry [16] estudou a incorporação de resíduos de madeira em ligantes de gesso com o objectivo de aumentar a resistência do gesso à fissuração espontânea, que deriva da capacidade deste material absorver e

restituir água do e para o ambiente com o qual está em contacto com variações de volume, tendo concluído que as fibras de madeira influenciam a cinética da hidratação do gesso retardando-a. Dalmay *et al.* [17] estudaram a utilização de fibras de cânhamo no reforço de painéis de gesso, referindo que estas fibras aumentam para o dobro os tempos de início e de fim de presa.

Os mesmos autores referem que a utilização de fibras de linho não está associada a esta desvantagem. A zona de interface entre a pasta de cimento e as fibras é porosa, com bastantes fissuras e com elevado teor em cristais de hidróxido de cálcio, estimando-se que a sua espessura ao fim de 180 dias seja à volta de 200 μm [18]. Pelo contrário Savastano *et al.* [19] observaram que a utilização de vácuo e de pressão elevada após a betonagem conduzem à obtenção de zonas de interface bastante densas (Figura 2). Os resultados da composição química das zonas 1 e

2 obtidos por EDS, não comprovam a presença de hidróxido de cálcio (portlandite) ao contrário do que acontece nos casos gerais de betões com fibras sem utilização de vácuo ou pressão. Da análise da literatura constata-se que tanto o uso de produtos hidrófobos [20], como a utilização de tratamentos mecânicos [21], ou os tratamentos com soluções alcalinas [15], propiciam a obtenção de elevados níveis de aderência entre as fibras e a pasta de cimento.

Tonoli *et al.* [22] compararam o desempenho de compósitos cimentícios com fibras previamente tratadas com dois tipos de organossilanos (MPTS e APTS), tendo observado que ao nível da microestrutura, o tratamento das fibras com MPTS impede a migração dos produtos de hidratação para as fibras. Já as fibras tratadas com APTS, evidenciam uma mineralização acelerada, o que leva a um comportamento frágil dos compósitos cimentícios.

Tabela 1: Propriedades de algumas fibras vegetais [6]

Propriedades	Massa volúmica (Kg/m ³)	Absorção de água (%)	Resist. à flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Sisal	1370	110	347-378	15,2
Coco	1177	93,8	95-118	2,8
Bambu	1158	145	73-505	10-40
Cânhamo	1500	85-105	900	34
Malva	1409	182	300-500	10-40
Bananeira	1031	407	384	20-51
Piaçava	1054	34-108	143	5,6
Palmeira	1300-1450	60-84	70-170	2,5-4
Polipropileno	913	-	250	2,0
PVA	1300	-	900	23

Tabela 2: Tratamento "pulping" de fibras de sisal e de bananeira [8]

Parâmetro	Sisal	Bananeira
Alcalis (as Na ₂ O) (%)	9	10
Sulfatos (as Na ₂ O) (%)	25	25
Licor/fibra	5:1	7:1
Temperatura (°C)	170	170
Tempo de digestão	~ 75 minutos a 120 °C de cozedura	~ 85 minutos a 120 °C de cozedura
Rendimento total (%w/w)	55,4	45,9
Rendimento efectivo (%w/w)	45,5	45,3

Propriedades dos Compósitos Cimentícios

Fibras Dispersas na Matriz

Alguns autores referem que a utilização de 0,2% em volume de fibras de sisal com 25 mm originam uma redução da retracção plástica [23]. Já outros referem que o uso simultâneo de fibras de coco e sisal atrasa a retracção restringida, reduzindo a propagação de fissuras nas primeiras idades de cura. Relativamente ao comportamento mecânico dos betões com fibras constata-se que o uso de uma baixa percentagem origina aumentos da resistência à flexão e mesmo da resistência ao impacto, apresentando um desempenho similar ao de betões com fibras sintéticas [24]. Ramakrishna & Sundararajan [25] referem a obtenção de resistências ao impacto, 3 a 18 vezes maiores comparativamente à resistência de compósitos sem fibras. Segundo Razak & Ferdiansyah [26] o uso de baixos volumes de fibras (0,6-0,8%) de Arenga Pinata contribui para o aumento da resistência ao impacto.

Reis [27] constatou que o desempenho mecânico dos compósitos com fibras vegetais está muito dependente do tipo de fibra utilizada. Segundo este autor, algumas fibras contribuem para a resistência ao impacto como as fibras de cana-de-açúcar, não sucedendo o mesmo com outras fibras como as de bananeira, já a utilização de fibras de coco originam resistências à flexão, superiores mesmo à resistência de compósitos com fibras sintéticas como carbono ou fibras de vidro. Outros autores apresentam resultados de compósitos com fibras de sisal cujas resistências à compressão são inferiores às de compósitos sem fibras, contudo este comportamento parece ficar a dever-se a problemas de trabalhabilidade [28]. Savastano [30] estudou o desempenho de compósitos reforçados com fibras de sisal (1,65 mm), de bananeira (1,05 mm) e de eucalipto (0,66 mm). Os compósitos com as fibras de sisal e bananeira apresentaram um comportamento à fractura mais estável do que aqueles que continham fibras de eucalipto, confirmando que o tamanho das fibras influencia o pro-

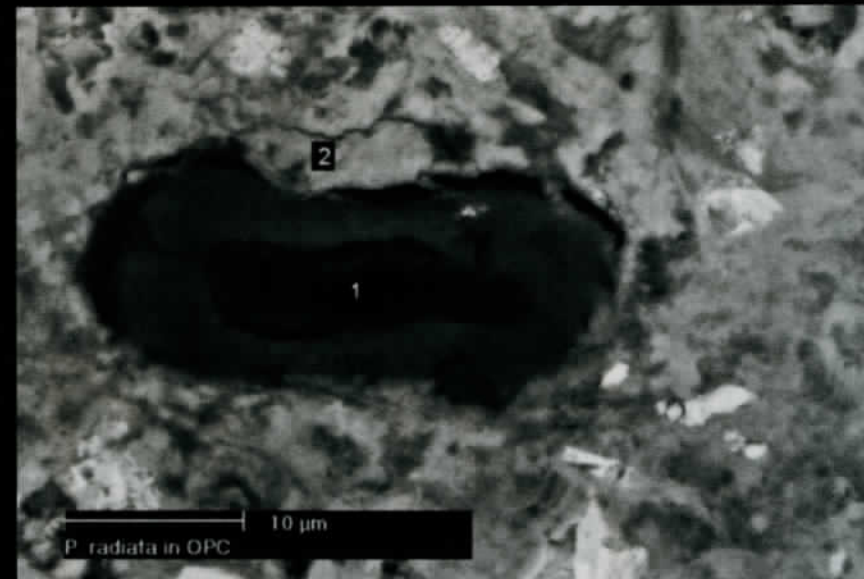


Figura 2 - Microestrutura da zona de transição entre fibras de sisal e matriz cimentícia [19]

cesso de transferência da carga da matriz para as fibras. Silva *et al.* (2010) [32] analisaram compósitos em que as fibras de sisal foram colocadas de forma manual ao longo de todo o comprimento do molde metálico, em 5 camadas alternadas de argamassa/fibras. Estes materiais apresentaram resistências à flexão de 25 MPa. Para Tonoli *et al.* (2010) [33] os compósitos com fibras de eucalipto apresentam melhor desempenho mecânico após 200 ciclos de envelhecimento acelerado, quando comparados com outros contendo fibras de madeira de pinho, sendo que a explicação se fica a dever a uma melhor distribuição das fibras na matriz (Figura 3a). Já os compósitos com fibras de pinho (Figura 3b), apresentam zonas com grande concentração de fibras (círculos a branco) e outras sem fibras ou com uma presença residual (rectângulos a vermelho).

Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibras

A durabilidade dos compósitos reforçados com fibras vegetais está relacionada com a capacidade destes para resistirem tanto a ataques externos (temperatura, variações da humidade, ataque de sulfatos ou cloretos, etc.) ou internos (compatibilidade entre as fibras e a pasta de cimento, variações volumétricas das fibras, etc.). A degrada-

ção das fibras quando imersas na pasta de cimento Portland deve-se ao ambiente de elevada alcalinidade que dissolve as fases de linhina e a hemicelulose, enfraquecendo a estrutura fibrosa.

Gram [34] constatou o efeito dos iões de cálcio (Ca^{2+}) na degradação das fibras, constatando igualmente que as fibras eram capazes de preservar a sua flexibilidade e a sua resistência em áreas em que tivesse ocorrido a carbonatação do betão com um pH inferior ou igual a 9. Outros autores [35] também estudaram a durabilidade das fibras de sisal e de coco quando sujeitas a soluções alcalinas, observando que após 420 dias elas mantinham respectivamente 72,7% e 60,9% da sua resistência inicial. Já no respeitante à imersão das referidas fibras em hidróxido de cálcio, observou-se a perda total da resistência original após terem decorrido 300 dias. Segundo aqueles autores a elevada degradação poderá ficar a dever-se à ocorrência de fenómenos de cristalização da cal nos poros das fibras. Ramakrishna & Sundararajan [25] confirmam a degradação das fibras vegetais quando sujeitas a um ambiente alcalino. Tonoli *et al.* [36] referem ter obtido uma elevada durabilidade em compósitos com fibras de sisal, produzidos pelo processo Hatscheck. O aumento da durabilidade de

compósitos cimentícios com fibras vegetais pode ser conseguido através de dois modos distintos:

a) Alterações da matriz cimentícia

Utilização de composições com baixo nível de alcalinidade pelo recurso a aditivos pozolânicos como as cinzas de casca de arroz ou as cinzas volantes [37,38]. A literatura mostra que a utilização de misturas ternárias contendo escórias/metacaulino e silicas de fumo são eficazes no combate à degradação [39]. Embora por vezes a redução da alcalinidade não seja suficiente para evitar a decomposição da lignina. A rápida carbonatação do betão pode levar a uma redução da sua alcalinidade. Contudo, em certas situações, esta redução da alcalinidade do betão não é suficiente para impedir a decomposição da lignina [40]. Este fenómeno é confirmado por Tonoli et al. [33] que usaram carbonatação artificial para transformar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em CaCO_3 obtendo uma maior resistência e uma redução da porosidade. O uso de polímeros também pode ser uma forma

de aumentar a durabilidade de compósitos com fibras vegetais. D'Almeida [41] utilizaram composições com substituição de 50% do cimento por metacaulino, a fim de conseguirem uma matriz cimentícia livre de hidróxido de cálcio, para evitar a mineralização das fibras e o comportamento frágil dos compósitos.

b) Alterações nas fibras vegetais

Revestir as fibras para reduzir a absorção de água e a sua mineralização, o que pode ser conseguido com a utilização de produtos hidrófugos, como o silicato de sódio, o sulfito de sódio ou o sulfato de magnésio. Ghavami [20] constatou que a utilização de produtos hidrófugos no tratamento de fibras de bambu reduziu a absorção de água para apenas 4%. Também o processo de *pulping* já inicialmente referido, contribui para o aumento da durabilidade das fibras vegetais. Juarez *et al.* [42] referem que o próprio processo de extração tem influência na durabilidade. Já Motta [44] observou que o uso de compressão associado à temperatura,

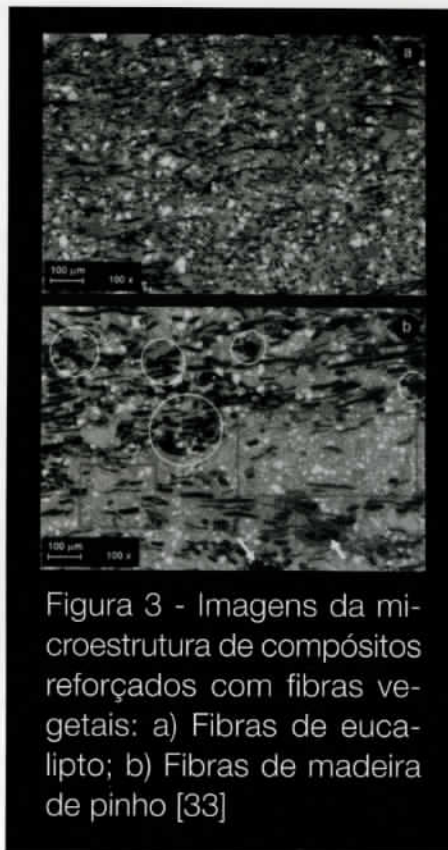


Figura 3 - Imagens da microestrutura de compósitos reforçados com fibras vegetais: a) Fibras de eucalipto; b) Fibras de madeira de pinho [33]

é responsável por um aumento da resistência das fibras e também por uma diminuição da sua absorção de água.

Engate Rápido Universal • Suporte Martelo • Conj. Patola c/ Engate Rápido • Balde STD

Balde Pá Carregadora • Balde de Grelhas • Lança Tomba-Blocos • Bico Ripper

Fabrico de acessórios para escavadoras e pás carregadoras

- ▶ Engates Rápidos Mecânicos e Hidráulicos
- ▶ Baldes
- ▶ Bicos Ripper
- ▶ Pastoias
- ▶ Suportes Martelo / Tesoura
- ▶ Lanças Tomba-Blocos
- ▶ Cilindros Hidráulicos

Comercialização

- ▶ Peças de substituição e consumíveis
- ▶ Correntes protectoras de pneus
- ▶ Equipamentos usados
- ▶ Lubrificações automáticas
- ▶ Balanças de Pesagem para máquinas e camiões
- ▶ Aço

Representantes e Distribuidores

- ▶ Correntes protectoras de pneus
- ▶ Material de Desgaste
- ▶ Lubrificação automática
- ▶ Sistemas de pesagem na cabine

UNIDADE DE REPARAÇÕES DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS, S.A.

SEDE Av. Manuel Simões Carrasqueira, 23,
2715-099 Pêro Pinheiro

ESCRIT. E INSTAL. FABRIS Parque Industrial da
Beijoca, Rua do Rio, 24 (EN 250-1 - Km 6,6)
Algueirão, 2725-524 Mem Martins

TEL. +(351) 219 266 800 - FAX +(351) 219 266 820
www.urmi.pt

Conclusões

A utilização de fibras vegetais no fabrico de compósitos cimentícios em substituição quer das fibras minerais de amianto, quer mesmo de fibras sintéticas, poderá contribuir para uma maior sustentabilidade da indústria da construção. Como a principal causa da degradação das fibras vegetais se prende com a sua baixa resistência em meios alcalinos é necessário investigar mais profundamente as interações entre a pasta de cimento e as fibras. São necessários novos estudos para se saber quais os tratamentos que podem contribuir para o aumento da compatibilidade entre as fibras vegetais e a matriz cimentícia. São também necessárias novas investigações sobre os métodos de controlo de qualidade, que possam minimizar a dispersão das propriedades das fibras.

Referências

- [1] Sample, V. (2006) Sustainable forestry and biodiversity conservation toward a new consensus. *Journal of Sustainable Forestry* Vol.21, pp.137-150.
- [2] Burger, J. (2009) Management effects on growth, production and sustainability of managed forest ecosystems: Past trends and future directions. *Forests Ecology and Management* Vol.17, pp.1335-2346.
- [3] Azuma, K.; Uchiyama, I.; Chiba, Y.; Okumura, J. (2009) Mesothelioma risk and environmental exposure to asbestos: Past and future trends in Japan. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, Vol.15, pp. 166-172.
- [4] Kumagai, S.; Kurumatani, N. (2009) Asbestos fiber concentration in the area surrounding a former asbestos cement plant and excess mesothelioma deaths in residents. *American Journal of Industrial Medicine*, Vol.52, pp.790-798.
- [5] Ikai, S.; Reicher, J.; Rodrigues, A.; Zampieri, V. (2010) Asbestos-free technology with new high toughness polypropylene (PP) fibers in air-cured Hatschek process. *Construction and Building Materials*, Vol.24, pp.171-180.
- [6] Arsène M-A, Savastano Jr H, Allameh Sm, Ghavami K, Soboyejo W. (2003) Cementitious composites reinforced with vegetable fibers. In: *Proceedings of the First Interamerican conference on non-conventional materials and technologies in the Eco-construction and Infrastructure*, 13-16 November 2003, Joao-Pessoa Brazil, IAC- NOCMAT 2003 Proceedings, ISBN 85-98073-02-4.
- [7] Li, Z.; Wang, X.; Wang, L. (2006) Properties of hemp fibre reinforced concrete composites. *Composites: Part A* Vol.37, pp.497-505.
- [8] Savastano, H.; Warden, P.; Coutts, R. (2003) Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices. *Cement & Concrete Composites* Vol.25, pp.311-319.
- [9] Castellano, M.; Gandini, A.; Fabbri, P.; Belgacem, M. (2004) Modification of cellulose fibres with organosilanes: Under what conditions does coupling occur? *Journal of Colloid and Interface Science* Vol.273, pp.505-511.
- [10] Joaquim, A.; Tonoli, G.; Santos, S.; Savastano, H. (2009) Sisal organosolv pulp as reinforcement for cement based composites. *Materials Research* Vol.12, pp.305-314.
- [11] Arsene, M.; Okwo, A.; Bilba, K.; Soboyejo, A.; Soboyejo, W. (2007) Chemically and thermally treated vegetable fibers for reinforcement of cement-based composites. *Materials and Manufacturing Processes* Vol.22, pp.214-227.
- [12] Savastano, H.; Warden, P.; Coutts, R. (2000) Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. *Cement & Concrete Composites* Vol.22, pp.379-384.
- [13] Bilba, K.; Arsene, M.; Ouensanga, A. (2003) Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composite. *Cement & Concrete Composites* Vol.25, pp.91-96.
- [14] Stancato, A.; Burke, A.; Beraldo, A. (2005) Mechanism of a vegetable waste composite with polymer-modified cement (W-CPMC). *Cement & Concrete Composites* Vol.27, pp.599-603.
- [15] Sedan, D.; Pagnoux, C.; Smith, A.; Chotard, T. (2008) Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. *Journal of the European Ceramic Society* Vol.28, pp.183-192.
- [16] Boustingorry, P. (2003) Elaboration d'un matériau composite à matrice gypse et renfort bois fragmenté. Amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqués en gypse. Tese pour le grade de Docteur. Ecole National Polytechnique de Grenoble.
- [17] Dalmay, P., Smith, A., Chotard, T., Sahay-Turner, P., Gloaguen, V., Krausz, P. (2010) Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: Influence of hemp or flax fibres on the properties of set of gypsum. *Journal of Materials Science* Vol.45, pp. 793-803.
- [18] Savastano, H.; Agopyan, V. (1999) Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. *Cement & Concrete Composites* Vol.21, pp.49-57.
- [19] Savastano, H.; Warden, P.; Coutts, R. (2005) Microstructure and mechanical properties of waste fibre-cement composites. *Construction and Building Materials* Vol.27, pp.583-592.
- [20] Ghavami, K. (1995) Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced lightweight concrete beams. *Cement & Concrete Composites* Vol.17, pp.281-288.
- [21] Coutts, R. (2005) A review of Australian research into natural fibre cement composites. *Cement & Concrete Composites* Vol.27, pp.518-526.
- [22] Tonoli, G.; Filho, U.; Savastano, H.; Bras, J.; Belgacem, M.; Lahr, F. (2009) Cellulose modified fibres in cement based composites. *Composites Part A*, pp.2046-2053.
- [23] Filho, R.; Ghavami, K.; Sanjuán, M.; England, G. (2005) Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. *Cement & Concrete Composites* Vol.27, pp.537-546.
- [24] Al-Oraimi, S.; Seibi, A. (1995) Mechanical characterization and impact behavior of concrete reinforced with natural fibres. *Composite Structures* 32, 165-171.

- [25] Ramakrishna, G.; Sundararajan, T. (2005) Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study. *Cement & Concrete Composites* Vol.27, pp.547-553.
- [26] Razak, A.; Ferdiansyah, T. (2005) Toughness characteristics of *Arenga pinnata* fibre concrete. *Journal of Natural Fibers* Vol.2, pp.89-103.
- [27] Reis, J. (2006) Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete. *Construction and Building Materials* 20, 673-678.
- [28] Silva, J.; Rodrigues, D.; Dias (2007) Compressive strength of low resistance concrete manufactured with sisal fiber. 51^o Brazilian Congress of Ceramics. Salvador, Brazil.
- [29] Roma, L.; Martello, L.; Savastano, H. (2008) Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers. *Construction and Building Materials* Vol.22, pp.668-674.
- [30] Savastano, H.; Santos, S.; Radonjic, M.; Soboyejo, W. (2009) Fracture and fatigue of natural fiber-reinforced cementitious composites. *Cement & Concrete Composites* Vol.31, pp.232-243.
- [31] Savastano, H.; Santos, S.; Radonjic, M.; Soboyejo, W. (2009) Fracture and fatigue of natural fiber-reinforced cementitious composites. *Cement & Concrete Composites* Vol.31, pp.232-243.
- [32] Silva, F.; Filho, R.; Filho, J.; Fairbairn, E. (2010) Physical and mechanical properties of durable sisal fiber-cement composites. *Construction and Building Materials* Vol.24, pp.777-785.
- [33] Tonoli, G.; Savastano, H.; Fuente, E.; Negro, C.; Blanco, A.; Lahr, F. (2010) Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites. *Industrial Crops and Products* Vol.31, pp.225-232.
- [34] Gram, H. (1983) Durability of natural fibres in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
- [35] Filho, R.; Scrivener, K.; England, G.; Ghavami, K. (2000) Durability of alkali-sensitive sisal and coconuts fibres in cement mortar composites. *Cement & Concrete Composites* Vol.22, pp.127-143.
- [36] Tonoli, G.; Joaquim, A.; Arsene, M.; Bilba, K.; Savastano, H. (2007) Performance and durability of cement based composites reinforced with refined sisal pulp. *Materials and Manufacturing Processes* Vol.22, pp.149-156
- [37] Agopyan, V.; Savastano, H.; John, V.; Cincotto, M. (2005) Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. *Cement & Concrete Composites* Vol.27, pp.527-536.
- [38] Gutiérrez, R.; Díaz, L.; Delvasto, S. (2005) Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars. *Cement & Concrete Composites* Vol.27, pp.593-598.
- [39] Mohr, B.; Biernacki, J.; Kurtis, K. (2007) Supplementary cementitious materials for mitigating degradation of kraft pulp fiber cement-composites. *Cement And Concrete Research* Vol.37, pp.1531-1543.
- [40] Pimentel, L.; Beraldo, A.; Savastano, H. (2006) Durability of cellulose-cement composites modified by polymer. *Engenharia Agrícola* Vol.26, pp.344-353
- [41] D'Almeida, A.; Filho, J.; Filho, R. (2009) Use of curaua fibers as reinforcement in cement composites. *Chemical Engineering Transactions* Vol.17, pp.1717-1722.
- [42] Juárez, C.; Durán, A.; Valdez, P.; Fajardo, G. (2007) Performance of "Agave lechuguilla" natural fiber in Portland cement composites exposed to severe environment conditions. *Building and Environment* Vol.42, pp.1151-1157.
- [43] Motta, L.; John, V.; Agopyan, V. (2009) Thermo-mechanical treatment to improve properties of sisal fibres for composites. 5th International Materials Symposium MATERIALS 2009 - 14th meeting of SPM - Sociedade Portuguesa de Materiais; Lisbon.



F. Pacheco Torgal

Investigador na Unidade C-TAC, Universidade do Minho (Portugal), membro da Ordem dos Engenheiros com o nível Sênior, Projectista e Director de Obras (1993-2003), Mestre em Engenharia Civil (FCTUC-2002), Doutor Engenharia Civil (UBI-2007), autor de aproximadamente 110 artigos e comunicações, sendo 17 artigos em revistas ISI com 48 citações (Índice h=5).



Said Jalali

Professor Catedrático no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Projectista e Director de Obras (1969-1984), Mestre em Engenharia Civil (U. Nova-1985), Doutor Engenharia Civil (Coventry-1991), autor de aproximadamente 250 artigos e comunicações, sendo 27 artigos em revistas internacionais (Índice h=4).

Na próxima edição: Betões eco-eficientes de matriz multi-funcional.
Materiais com comportamento "inteligente"