



Efeito da argila calcinada sobre a durabilidade de argamassas reforçadas com fibras curtas de sisal

João de Farias Filho¹, Romildo D. Toledo Filho² & Paulo R. L. Lima³

RESUMO

O interesse pelo uso de fibras vegetais como reforço de matrizes, à base de cimento, tem crescido em todo o mundo nos últimos anos, sendo limitado pela baixa durabilidade das fibras no meio alcalino. Com o tempo, as fibras podem mineralizar devido à migração de hidróxido de cálcio (CH) da matriz para o lúmen e paredes das fibro-células. Procurou-se consumir, no presente estudo, o CH livre utilizando-se resíduo de tijolo moído e metacaulinita em substituição parcial, de 20 e 40% em peso, do cimento portland. Compósitos com fibras de sisal e matrizes cimento-pozolana foram submetidos a ensaios de resistência a flexão, após 28 dias de cura em água, 135 e 180 dias de envelhecimento natural e após 94 ciclos de molhagem e secagem. Os resultados indicaram que é possível consumir todo o CH da matriz, o que resultou na manutenção da tenacidade inicial do compósito e no aumento da sua resistência a flexão após exposição natural ou ciclos de molhagem e secagem.

Palavras-chave: fibra de sisal, compósitos, resíduo cerâmico, flexão, envelhecimento acelerado

Effect of calcined clay on aging of sisal short fiber reinforced mortar

ABSTRACT

In the last few years a growing interest in the use of sisal fibers as reinforcement in cement based composites has been observed. However, the main concern for its use is related with the durability of the fibers in the alkaline water of concrete as they can mineralize due to the migration of calcium hydroxide to the fiber lumen and cell walls. In this study, the alkalinity of the matrix was reduced using metakaolin and crushed waste calcined clay bricks as cement replacement. The percentage of cement replacement ranged from 20 to 40% on weight basis. Flexural tests were carried out in the composites after 28 days of cure in water, 135 and 180 days of ageing in the open air and after 94 cycles of wetting and drying. These results indicated that the mixture with cement replacement consumed all calcium hydroxide and kept the toughness over time.

Key words: sisal fibers, composites, brick waste, flexural behaviour, accelerated aged

¹Dr. em Construções Rurais, Rua Carlos Gomes 99, CEP 58200-000, Guarabira, PB. E-mail: farasjuca@yahoo.com.br

²COPPE/UFRJ, CP 68506, CEP 21945-970, Rio de Janeiro, RJ. Fone: (21) 2562-8479. E-mail: toledo@coc.ufrj.br

³PPGECEA/UEFS, Av. Transnordestina, SN, Novo Horizonte, CEP 44031-460, Feira de Santana, BA. Fone (75) 3224-8375. E-mail: lima.prl.uefs@gmail.com

INTRODUÇÃO

Estudos sobre a utilização da fibra de sisal como reforço de matrizes à base de cimento foram iniciados na década de 70, como alternativa para desenvolvimento de elementos de cobertura em países subdesenvolvidos (Swift & Smith, 1979). No Brasil, o estudo mais sistemático sobre uso das fibras de sisal foi iniciado pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia (CEPED), na década de 80, culminando com o desenvolvimento de telhas de fibrocimento (Guimarães, 1987). Verificou-se, no entanto, que alguns elementos construtivos apresentaram fragilização e perda de ductilidade após seis meses de exposição em clima tropical (Gram, 1983). Com isto e apesar da melhoria nas propriedades mecânicas com que a introdução de fibras curtas de sisal pode prover a matriz de cimento, seu uso foi inviabilizado por sua baixa durabilidade na matriz alcalina do cimento.

Ataque alcalino e mineralização do lúmen e parede de fibras devidos à migração de hidróxido de cálcio têm sido os principais fatores associados à perda precoce de resistência da fibra de sisal nos compósitos à base de cimento (Gram, 1983; Toledo Filho et al., 2000; Mohr et al., 2006). Estudos recentes, porém, têm demonstrado que é possível minimizar os efeitos deletérios sobre a fibra e garantir a durabilidade dos compósitos através da redução do teor de hidróxido de cálcio livre da matriz com o uso de adições pozolânicas, como sílica ativa (Toledo Filho et al., 2003), cinza de casca de arroz (Chatveera & Nimityongskul, 1992), metacaulinita (Lima & Toledo Filho, 2008) e blendas com duas ou mais pozolanas, incluindo resíduo cerâmico e metacaulinita (Mohr et al., 2007; Toledo Filho et al., 2009).

A fibra de sisal apresenta excelente resistência a tração mas baixa aderência fibra-matriz. Devido a isto seria necessário um grande comprimento para que a fibra pudesse atingir a máxima tensão de tração antes de ser arrancada da matriz e, desta forma, contribuisse para a transferência total de tensões na matriz fissurada. Para garantir a boa dispersão do material, fibras de sisal com mais de 50 mm de comprimento não são usualmente utilizadas como reforço de argamassas e concretos (Guimarães, 1987; Swift & Smith, 1979) razão por que nesses compósitos a ruptura é caracterizada pela propagação instável da fissura com arrancamento gradual das fibras de dentro da matriz, o que acarreta um ganho na capacidade de absorver energia do material. Desta forma, a inclusão de fibras curtas de sisal em argamassas de cimento não tem influência benéfica sobre o aumento da resistência a tração ou compressão mas proporciona a melhoria de propriedades, tais como tenacidade na compressão (Toledo Filho et al., 1999; Lima, 2004), resistência e tenacidade a flexão (Toledo Filho et al., 2003) e controle da fissuração por retração por secagem (Toledo Filho et al., 2005).

A potencialização do uso da fibra de sisal é estratégica para o desenvolvimento do Brasil, visto que é uma das poucas plantas capazes de tornar produtivo o semiárido nordestino. Durante o processo de extração e beneficiamento do sisal no campo, parte do material é composto de fibra curta que, atualmente, tem baixo valor comercial, mas apresenta um grande potencial como reforço em produtos de fibrocimento. A utili-

zação de resíduo cerâmico, metacaulinita e de fibras vegetais na produção de fibrocimento, resulta em um material ecologicamente mais eficiente que os tradicionais. O hidróxido de cálcio representa cerca de 20% dos compostos hidratados do cimento e não contribui para a resistência final do material endurecido. Em presença de argila calcinada se formam, durante a hidratação do cimento Portland, silicatos de cálcio hidratados que podem melhorar a resistência das argamassas e concretos no estado endurecido (Farias Filho et al., 2000; Oliveira & Barbosa, 2006).

Os estudos sobre durabilidade dos compósitos com fibras de sisal se têm concentrado na avaliação de materiais reforçados com fibras longas (Ramakrishna & Sundararajan, 2005; Lima & Toledo Filho, 2008; Toledo Filho et al., 2009) cuja fibra atua com o objetivo de aumentar a capacidade portante após a fissuração da matriz. Neste trabalho se avaliou o comportamento à flexão de um compósito com fibra curta de sisal e matriz de argamassa com substituição de parte do cimento por resíduo de tijolo moído ou metacaulinita. Monitorou-se o teor de hidróxido de cálcio na matriz utilizando-se análise termogravimétrica (TG e DTG). Para a avaliação do desempenho dos compósitos, placas de argamassa reforçadas com fibras curtas de sisal foram produzidas e submetidas a ensaios de envelhecimento natural e ensaios de molhagem/secagem, simulando o envelhecimento acelerado.

MATERIAL E MÉTODOS

Materiais utilizados

O cimento Portland utilizado foi o CP II-F 32. A metacaulinita foi doada por uma indústria de cimento, na forma de grão com diâmetro médio de 0,25 mm e calcinada a uma temperatura de cerca de 750 °C. O resíduo de tijolo cerâmico, em pedaços de dimensão média de 7,5 mm, foi triturado em um britador de mandíbula, até apresentar diâmetro variando entre 0,2 e 0,5 mm. A temperatura utilizada na queima dos tijolos foi de cerca de 900 °C. A metacaulinita e o tijolo queimado foram moídos em moinhos de disco e de barra, até que todos os grãos passassem através da peneira ABNT n. 200, cuja abertura de malha é de 74 mm. A areia utilizada foi proveniente do Rio Paraíba e tem módulo de finura de 2,81. A finura das argilas foi determinada por peneiramento e o percentual máximo retido na peneira ABNT n. 325 não ultrapassou 34%, atendendo às prescrições da norma americana ASTM C 618 (ASTM, 1992) quanto ao uso como material pozolânico. As composições químicas das adições indicam que as mesmas possuem teor de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ de cerca de 90%, teores de SiO_2 e Al_2O_3 superiores a, respectivamente, 60 e 20%, e teores de CaO e MgO inferiores a, respectivamente, 10 e 3%, atendendo aos limites da norma americana para o uso como adição mineral em misturas com cimento Portland. Difração de raios-X indicou a presença de quartzo, caulinita, calcita e de material amorfo. A densidade real das argilas foi de 2,69 kg dm^{-3} e a do cimento utilizado, de 3,10 kg dm^{-3} .

As fibras de sisal utilizadas nesta investigação foram produzidas na Paraíba e cortadas com 25 mm de comprimento e

adicionadas randomicamente à matriz, em uma fração volumétrica de 0,6 %.

As argamassas compósitas foram produzidas em argamassadeira de 15 dm³ com traço, em massa, de 1:1, 5:0, 45 (material cimentante:areia:relação água/material cimentante). O material cimentante era cimento ou uma blenda com substituição de 20 e 40%, em peso, de cimento por argila calcinada.

Confeccionaram-se os corpos-de-prova para ensaio, de dimensões 300 x 60 x 12,7 mm, utilizando-se moldes de aço com vibração externa; após 24 h, foram imersos em água até a idade de 28 dias.

Métodos de ensaio

Avaliou-se a durabilidade dos compósitos a partir do comportamento em flexão em quatro pontos, com um vão entre apoios de 275 mm. Os ensaios foram executados em prensa MTS de capacidade 10 tf a uma velocidade de deslocamento do travessão de 0,16 mm min⁻¹, até uma deflexão no meio do vão de aproximadamente 4 mm. Três ensaios foram realizados para cada mistura.

A partir das curvas carga versus deflexão, dois parâmetros foram calculados para a avaliação da eficiência do reforço e, conseqüentemente, da sua durabilidade com o tempo:

i. O módulo de ruptura na flexão do material (σ) foi determinado usando-se a Eq. 1:

$$\sigma = \frac{6M}{bd^2} \quad (1)$$

onde M é o momento fletor máximo e b e d são a largura e espessura do corpo-de-prova, respectivamente;

ii. O índice de tenacidade (T) - definido como a energia necessária para fletir uma viga de concreto reforçada com fibras até uma deflexão no meio de vão de L por 150 do seu vão, isto é, 1,83 mm no presente estudo.

As condições de envelhecimento foram:

i. Envelhecimento natural - realizado na cidade de Campina Grande, PB, colocando-se as amostras sobre estantes de exposição. A temperatura e a umidade relativa variaram, no período em estudo, de 19,9 a 27,5 °C e 57,0 a 92,0%, respectivamente;

ii. Envelhecimento acelerado, que consistiu em se submeter as amostras a ciclos de molhagem e secagem. Cada ciclo tinha duração total de 24 h e consistia de 15 h de secagem em estufa a 65 °C ± 5 °C, 30 min de secagem ao ar, 8 h de imersão em água e 30 min de secagem ao ar.

Os compósitos com matrizes pozolânicas foram ensaiados após 28 dias de cura em água e após envelhecimento natural e acelerado. O envelhecimento de todas as amostras foi iniciado após 28 dias de cura em água. A Tabela 1 apresenta o programa experimental.

Uma avaliação quantitativa do consumo de hidróxido de cálcio foi realizada após 28 dias de cura, em água, através da análise termogravimétrica. Amostras de 3 cm de diâmetro por 1 cm de altura, produzidas em proporção material cimentante: água de 1:0,45, foram, após o período de cura, pulverizadas em cadinho de porcelana, até que 100% do material passassem na peneira ABNT n° 200. Os ensaios foram realizados em

Tabela 1. Programa experimental usado no estudo da durabilidade dos compósitos

Mistura	Teor de adição (%)		Envelhecimento	
	Metacaulinita	Tijolo moído	Natural (dias)	Acelerado (ciclos)
TM20	-	20	135	94
TM40	-	40	180	94
MC20	20	-	135	94
MC40	40	-	180	94

um aparelho do tipo SHIMADZU TGA-50, operando a uma taxa de aquecimento de 10,0 °C min⁻¹ até a temperatura máxima de 900 °C. Utilizaram-se atmosfera de nitrogênio, célula de alumina e fluxo do registrador de 50 ml min⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Consumo de hidróxido de cálcio

Como a baixa durabilidade das fibras vegetais pode estar relacionada com a sua mineralização devido à migração de hidróxido de cálcio da matriz para o lúmen e paredes das fibro-células procurou-se, no presente estudo, consumir o hidróxido de cálcio (CH) resultante da hidratação dos silicatos tri-cálcico e bi-cálcico da argamassa de cimento Portland.

O teor de CH de pastas de cimento hidratadas pode ser obtido por termogravimetria: quando exposto a temperaturas entre aproximadamente 380 e 550 °C, o CH livre se decompõe termicamente e perde água em um processo de desidratação. Evidências de CH livre podem ser encontradas de forma mais precisa nas curvas DTG por meio de um pico distinto entre essas temperaturas, correspondente à energia liberada durante a reação de desidratação dada pela Eq. 2:



Obteve-se o teor de CH livre por meio de cálculo estequiométrico (Eq. 2) a partir da perda de massa medida nas análises termogravimétricas (TG) mostradas na Figura 1.

Nas curvas DTG foram identificados os picos correspondentes à desidratação do CH livre para todas as misturas, entre as temperaturas de 425,52 e 485,48 °C. A partir da perda de massa obtida do diagrama TG, entre a temperatura inicial (t_0) e final (t_f) do pico do DTG, calcularam-se os teores de CH livre, como mostra a Tabela 2. O teor de CH foi calculado com relação à massa final a temperatura de 800 °C, seguindo-se recomendação de Taylor (1997).

Para o cimento Portland CP II-F, o teor de CH livre se situa em torno de 20% (Taylor, 1997). Para as misturas com adição, o teor de CH variou de 0 a 9,94%, demonstrando a pozolanicidade das argilas estudadas. Para a mistura com 40% de metacaulinita, não se verifica nenhum pico na curva DTG entre as temperaturas indicadas, evidenciando o consumo total do CH pelas reações pozolânicas. Resultado similar foi encontrado por Lima & Toledo Filho (2008) com a utilização de 30% de metacaulinita de alta reatividade.

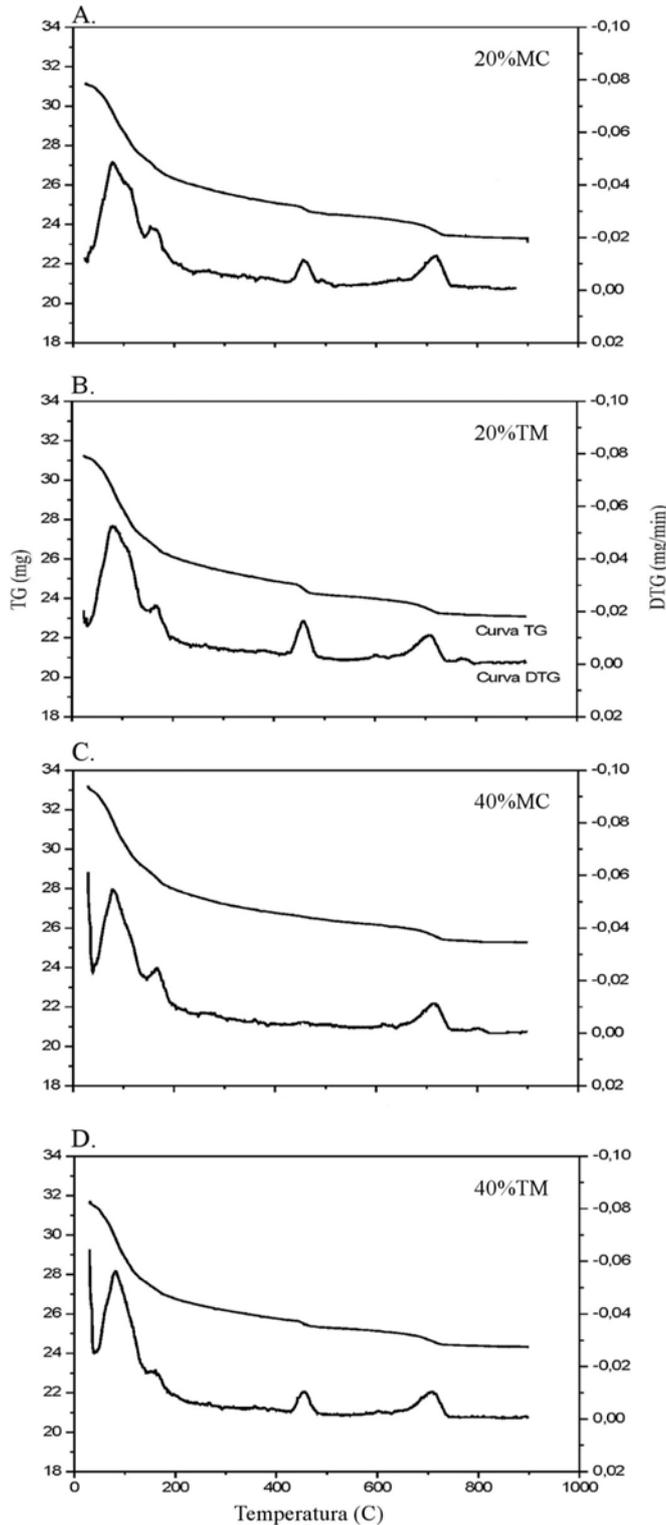


Figura 1. Curvas termogravimétricas da pasta de cimento Portland com 20 e 40% de adição de metacaulinita (MC) e de tijolo moído (TM)

Tabela 2. Teor de hidróxido de cálcio nas pastas mistas após 28 dias de cura em água

Misturas	To (°C)	Tf (°C)	CH livre (% massa)
TM20	425,53	485,48	9,94
TM40	425,52	483,37	6,22
MC20	429,74	485,48	7,04
MC40	-	-	0,00

Avaliação dos compósitos

Valores médios do módulo de ruptura (σ) e do índice de tenacidade (T) dos compósitos, com os respectivos coeficientes de variação (CV), são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados do ensaio de flexão

Mistura	Condição de exposição	Período	σ (MPa) CV (%)	T (KN mm) CV (%)
M	Imersão em Água	28 dias	4,14 - 3,99	0,09 - 6,00
MC20	Imersão em Água	28 dias	5,32 - 5,99	0,15 - 7,00
	Env. Acelerado	94 ciclos	5,39 - 1,40	0,07 - 6,94
MC40	Imersão em Água	28 dias	5,52 - 4,42	0,12 - 7,66
	Env. Acelerado	94 ciclos	5,82 - 4,48	0,15 - 5,43
TM20	Imersão em Água	28 dias	4,98 - 3,38	0,15 - 6,39
	Env. Acelerado	94 ciclos	5,63 - 2,89	0,11 - 6,50
TM40	Imersão em Água	28 dias	5,33 - 0,33	0,12 - 11,0
	Env. Acelerado	94 ciclos	5,36 - 6,07	0,07 - 1,48
TM40	Imersão em Água	28 dias	5,95 - 5,47	0,10 - 0,37
	Env. Acelerado	94 ciclos	5,67 - 1,83	0,11 - 10,1
TM40	Imersão em Água	28 dias	5,67 - 1,83	0,08 - 5,01
	Env. Acelerado	94 ciclos	5,67 - 1,83	0,08 - 5,01

Os resultados dos ensaios de resistência a flexão aos 28 dias de idade indicam que houve aumento do módulo de ruptura, com relação à matriz M, sem adição, para todas as misturas, com incrementos máximos de 33%, como pode ser visto na Figura 2A. O aumento do módulo de ruptura da mistura com as adições pozolânicas está diretamente associado à formação de novos compostos hidratados resultantes da substituição do hidróxido de cálcio livre por compostos mais resistentes e à formação de uma estrutura mais densa, que aumenta a resistência mecânica do material (Wild et al., 1996; Gutierrez et al., 2005).

Com a presença das fibras curtas de sisal, verifica-se um aumento na tenacidade do material em comparação com a matriz, como mostra a Figura 2B. As matrizes à base de cimento têm comportamento frágil sob tração e flexão, apresentando queda brusca de resistência após o surgimento da primeira. Para os compósitos, no entanto, após a fissuração da matriz, a presença das fibras “costurando” esta primeira fissura permite uma redistribuição de tensões ao longo do material, que permitem uma redução gradual de resistência, um aumento da deformação de ruptura e, conseqüentemente, da tenacidade. O aumento da abertura desta fissura inicial para o caso de fibras curtas resulta em um processo de arrancamento das fibras, o que acarreta em ganho de energia (Lima, 2004; Chatveera & Nimityongskul, 2002). Verifica-se um importante aumento de tenacidade de até 67%, com relação à matriz de cimento portland, principalmente em se considerando a adição de apenas 0,6% de fibras curtas de sisal.

A influência do envelhecimento sobre a tenacidade dos compósitos, que está diretamente associada à ação da fibra, está apresentada na Figura 2C. A linha horizontal representa a tenacidade relativa após 28 dias de imersão em água.

Para os compósitos com menores volumes de adição, misturas MC20 e TM20, deu-se redução da tenacidade de até 53% após envelhecimento, demonstrando que essas pozolanas não possuem a reatividade necessária para impedir a deterioração

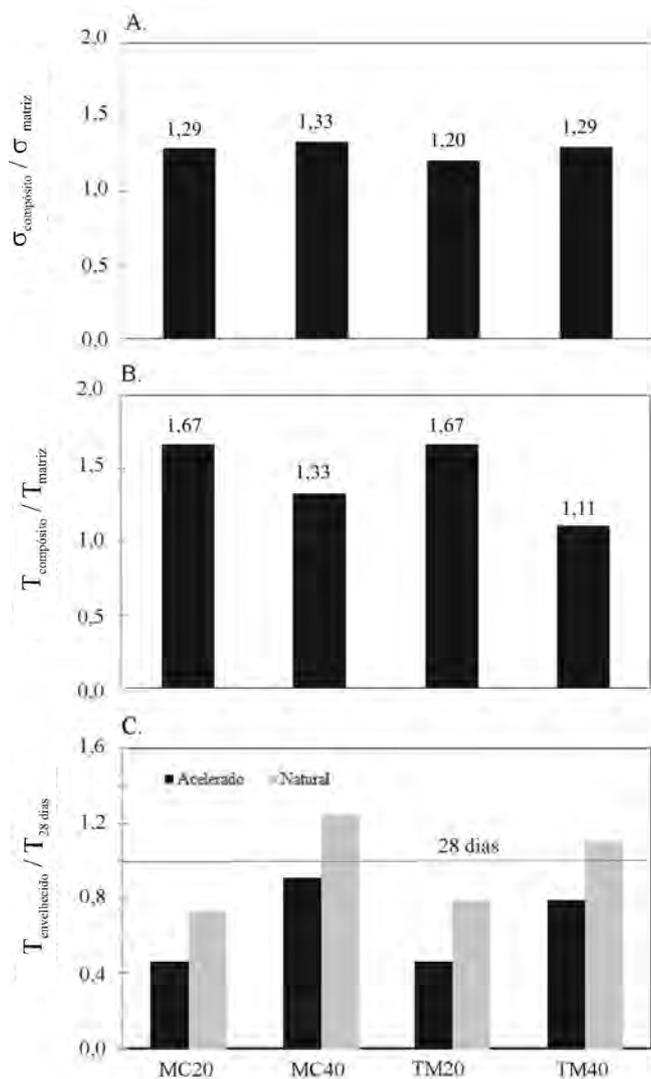


Figura 2. Influência da adição pozolânica e do envelhecimento sobre o módulo de ruptura e tenacidade dos compósitos

da fibra vegetal em ambiente alcalino, sendo necessário aumentar o teor de adição. A mistura MC40, isenta de hidróxido de cálcio, apresentou ganho de tenacidade após envelhecimento natural de 25% e redução de apenas 8% após envelhecimento acelerado. A mistura TM40 mostrou comportamento similar, porém com menor eficiência, com aumento de 10% e redução de 20%, respectivamente. Este ganho de tenacidade está associado principalmente à melhoria nas propriedades da matriz com o tempo que favorece, por exemplo, a aderência fibra-matriz dos compósitos.

A perda de resistência das fibras vegetais e consequente redução da tenacidade dos compósitos, em meio alcalino, têm sido comprovadas por vários autores (Toledo Filho et al., 2000; Kriker et al., 2008). A relação entre a redução do teor de CH e a melhoria do comportamento dos compósitos encontrada neste trabalho comprova resultados recentes (Mohr et al., 2007; Lima & Toledo Filho, 2008; Toledo Filho et al., 2009) que demonstram que o teor de CH é uma variável importante na minimização da degradação durante ciclos molhagem-secação. De acordo com Mohr et al. (2006) a reprecipitação de CH é um fator dominante na degradação de compósitos re-

forçados com polpa vegetal submetidos a ciclos molhagem-secação. Esses autores propõem que, pela minimização da quantidade de CH inicialmente presente, é possível reduzir ou evitar a fragilização dos compósitos.

CONCLUSÕES

1. O aumento no teor de argila calcinada em substituição ao cimento reduz o teor de hidróxido de cálcio das misturas.
2. Para o mesmo teor de substituição, a metacaolinita mostrou-se mais reativa que o resíduo de tijolo moído.
3. Com 40% de metacaolinita foi possível obter uma matriz livre de hidróxido de cálcio.
4. Os compósitos produzidos com a substituição de cimento por adição pozolânica apresentaram, aos 28 dias de idade, módulo de ruptura e tenacidade maiores que a matriz.
5. Após envelhecimento natural verifica-se que os compósitos com 40% de adição pozolânica apresentaram tenacidade maior que os compósitos sem envelhecimento, demonstrando que não houve deterioração da fibra.

LITERATURA CITADA

- ASTM - American Society for Testing and Materials. Fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in Portland cement concrete. ASTM 618 C. In: Anual Book of ASTM standards, Philadelphia: ASTM, 1992. 3p.
- Chatveera, B.; Nimityongskul, P. Mechanical properties of sisal fiber-mortar composites containing rice husk ash. In: Fibre reinforced cement and concrete, 1992, London. Proceedings of the Fourth RILEM International Symposium. London: RILEM, 2002. p.1056 - 1072 .
- Farias Filho, J.; Rolim, J. M. S.; Toledo Filho, R. D. Potencialidades da metacaolinita e do tijolo queimado moído como substitutos parciais do cimento Portland. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.437-444, 2000.
- Gram, H. E. Durability of natural fibres in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Research Report No.1:83, 1983, 225p.
- Guimarães, S. S. Fibra vegetal-cimento: Resultado de algumas experiências realizadas no Ceped/Thaba. In: Simpósio Internacional sobre Produção e Transferência de Tecnologia em Habitação: Da pesquisa à prática, 1987, São Paulo. Anais....São Paulo: IPT e CIB, 1987. p.103-109.
- Gutiérrez, R. M.; Díaz, L. N.; Delvasto, S. Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars, Cement and Concrete Composites, v.27, n.5, p.593-598, 2005.
- Kriker, A.; Bali, A.; Debicki, G.; Bouziane, M.; Chabannet, M. Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates. Cement and Concrete Composites, v.30, n.7, p.639-648, 2008.
- Lima, P. R. L. Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal. Rio de Janeiro: COPPEDEC/UFRJ, 2004. 263p. Tese Doutorado

- Lima, P. R. L.; Toledo Filho, R. D. Uso de metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal. *Ambiente Construído*, v.8, n.4, p.7-19, 2008.
- Mohr, B. J.; Biernacki, J. J.; Kurtis, K. E. Microstructural and chemical effects of wet/dry cycling on pulp fiber–cement composites. *Cement and Concrete Research*, v.36, n.7, p.1240-1251, 2006.
- Mohr, B. J.; Biernacki, J. J.; Kurtis, K. E. Supplementary cementitious materials for miting degradation of kraft pulp fiber–cement composites. *Cement and Concrete Research*, v.37, n.11, p.1531-1543, 2007.
- Oliveira, M. P.; Barbosa, N. P. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland em argamassas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.490-496, 2006.
- Ramakrishna, G.; Sundararajan, T. Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. *Cement and Concrete Composites*, v.27, n.5, p.575–582, 2005.
- Swift, D. G.; Smith, R. S. L. Sisal-cement composites as lowcost construction materials. *Appropriate Technology*, v.6, n.3, p.6-8, 1979.
- Taylor, H. F. W. *Cement chemistry*. London: Academic Press Ltd., v.2, 1997. 459p.
- Toledo Filho, R. D.; Ghavami, K.; England, G. L.; Scriver, K. Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. *Cement and Concrete Composites*, v.25, n.2, p.185-196, 2003.
- Toledo Filho, R. D.; Ghavami, K.; Sanjuan, M.; England, G. L. Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. *Cement and Concrete Composites*, v.27, n.5, p.537-546, 2005.
- Toledo Filho, R. D.; Kuruvilla, J.; Ghavami, K.; England, G. L. The use of sisal fibre as reinforcement in cement based composites. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.2, p.245-256, 1999.
- Toledo Filho, R. D.; Scrivener, K.; England, G. L.; Ghavami, K. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites*, v.22, n.2, p.127-143, 2000.
- Toledo Filho, R. D.; Silva, F. A.; Fairbairn, E. M. R.; Melo Filho, J. A. Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates. *Construction and Building Materials*, v.23, n.6, p.2409-2420, 2009.
- Wild, S.; Khatib, J. M.; Jones, A. Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete. *Cement and Concrete Research*, v.26, n.10, p.1537-1544, 1996.