



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ESTRUTURAS DE SOLO-CIMENTO REFORÇADO COM FIBRAS DE COCO E HASTES DE BAMBU

Guillermo van Erven Cabala, guillermo_cabala@yahoo.com.br^{1,4}
Wilson Acchar, acchar@dfte.ufrn.br^{2,3}

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, IFBA-BA,

²Departamento de Física Teórica e Experimental, Campus Universitário, UFRN, Natal-RN, Brasil,

³Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Campus Universitário, UFRN, Natal-RN, Brasil,

⁴Grupo de Estudos em Materiais e Suas Aplicações – GEMAA.

Resumo: Neste trabalho foi estudada a utilização de fibra de coco e de hastes de bambu como reforço de solo-cimento. O objetivo principal foi estudar o efeito da adição de reforço ao solo-cimento e, também, avaliar efeito da umidade sobre a resistência mecânica. A argamassa de solo-cimento foi composta por uma mistura em partes iguais de solo e areia de rio, 14 % em peso de cimento e 10 % em peso de água. Como reforço foram utilizadas diferentes combinações de (a) fibra de coco com comprimento médio de 15 mm (teores de 0,3 %, 0,6 % e 1,2 % em peso) e (b) de hastes de bambu, também em quantidades crescentes (2, 4 e 8 hastes por corpo-de-prova). Foram confeccionados 6 corpos-de-prova para cada tratamento e esses foram submetidos a ensaio de flexão de três pontos aos 28 dias de cura. Para a avaliação do efeito da umidade, 1 corpo de prova de cada tratamento reforçado com fibra de coco foi imerso em água por 24 horas um dia antes da realização do ensaio de flexão. Os resultados mostraram que a inclusão do reforço no solo-cimento influencia negativamente a resistência mecânica e, em contrapartida, resulta num aumento da tenacidade e ductilidade do material.

Palavras-chave: solo-cimento; reforço; fibra de coco; bambu.

1. INTRODUÇÃO

O solo-cimento teve sua aplicação inicial direcionada para a execução de rodovias, sendo as primeiras pesquisas dirigidas para esse fim (NEVES, 1978). Posteriormente o uso do material se difundiu para outras áreas, entre as quais, há destaque e extensa investigação, para a confecção de tijolos prensados que dispensam a queima.

O solo quando estabilizado com cimento e prensado adquire resistência à compressão (GRANDE, 2003) e durabilidade necessárias ao seu uso como material de construção. Todavia esse material não se credencia tecnicamente para situações em que há a presença de esforços de tração, tornando-se necessário, nesses casos, lançar mão de estratégias para adequar alguns parâmetros de engenharia, visto que esse material pode, quando submetido a esses esforços, deteriorar rapidamente pelo surgimento de trincas de tração. Nessas condições têm-se estudado o uso de bambu, fibras naturais e fibras sintéticas. Trindade *et. al* (2004) destacam o uso de juta, piaçava e sisal, informando que as mesmas apresentam o inconveniente de fácil deterioração com o tempo. Sobre o uso de fibra de coco, Savastano Júnior e Pimentel (2000) informam que esse material representa volumoso rejeito em aterros e “lixões”.

A bibliografia relata ganhos na resistência mecânica e aumento na ductilidade de solos (TRINDADE *et. al*, 2004) e, em matrizes frágeis, o aumento da capacidade do material absorver energia antes da ruptura (DOS ANJOS; GHAVANI; BARBOSA, 2003). Savastano Júnior e Pimentel (2000) indicam a possibilidade da obtenção de materiais com boas propriedades e baixa densidade quando se utiliza reforço de fibras de coco em matrizes frágeis.

O reforço constitui um meio eficiente no controle da fissuração e no aumento da capacidade de carga pós-fissura (SPECHT, 2000). Lopes (2002) e Savastano Júnior e Pimentel (2000) informam que o reforço evita o colapso total do material mesmo depois da ruptura da matriz de solo-cimento.

O objetivo deste trabalho é pesquisar o comportamento mecânico de um solo argilo-arenoso, corrigido com areia de rio, estabilizado com cimento e reforçado com hastes longitudinais bambu e fibras da casca de coco de distribuição aleatória.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se o solo proeminente na região do Extremo Sul da Bahia, de textura mediana a argilosa. A camada superficial do solo, até 50 cm de profundidade, foi rejeitada em função da presença de grande quantidade de matéria orgânica. O solo foi coletado em um talude de corte numa faixa de profundidade entre 0,50 e 1,0 m e seco sobre lona plástica, à sombra por um mês, sendo posteriormente passado pela peneira Nº 4 (de 4,8 mm de abertura de malha) para a retirada da maior parte das raízes e, em seguida, acondicionado em sacos plásticos.

Foram realizados os ensaios de análise granulométrica, utilizando-se como dispersante a solução de NaOH 1,5 N, e o ensaio recomendado pelo CEPED (NEVES [198-?]), cuja finalidade é avaliar as características de expansão, contração e plasticidade do solo.

Considerando-se o resultado desses ensaios, realizou-se uma correção granulométrica do solo, buscando a adequação aos critérios sugeridos pela ABCP, pelo CEPED e pelas normas NBR 10832 e NBR 10833. Essa correção consistiu em adicionar ao solo *in natura* areia de rio, sendo 600 g de cada um desses componentes em cada corpo-de-prova.

Após a correção granulométrica, o ensaio sugerido pelo CEPED foi repetido, sendo posteriormente retirada uma nova amostra de para análise granulométrica e ensaios de Difração e de Fluorescência de Raios-X realizados no Centro de Tecnologia do Gás – CTGAS-RN.

Os corpos-de-prova foram conformados em matriz desmontável com cavidade retangular de dimensões 200 x 80 mm, utilizando-se prensa hidráulica e aplicando carga de 3 toneladas, correspondente a uma pressão de compactação de 1,9 MPa, valor coerente com a pressão de compactação obtida em prensas manuais. Para cada tratamento, foram confeccionados 6 corpos-de-prova, cada um com 1200 g do solo corrigido, 120 g de água potável e 168g de cimento Portland (CP II-E-32), 14 %, em massa, conforme recomendação do CEPED (NEVES, 1978) e Vargas (1977). O tratamento controle, T1, foi composto apenas por essa mistura de solo-cimento e nos demais foram utilizadas, como reforço, quantidades crescentes de fibras de coco aleatoriamente distribuídas e hastes de bambu (Tab. 1).

Tabela 1. Tratamentos aplicados aos corpo-de-prova.

Tratamento	Reforço
T1	Nenhum
T2	0,30 % de fibra de coco com comprimento médio de 15 mm.
T3	0,60 % de fibra de coco com comprimento médio de 15 mm.
T4	1,20 % de fibra de coco com comprimento médio de 15 mm.
T5	2 hastes de bambu (comprimento 160 mm e diâmetro 3 mm).
T6	4 hastes de bambu (comprimento 160 mm e diâmetro 3 mm).
T7	8 hastes de bambu (comprimento 160 mm e diâmetro 3 mm).

Nos tratamentos com reforço de hastes de bambu, a argamassa foi separada em três partes iguais e o reforço colocado entre duas camadas sucessivas. Antes da colocação das hastes sobre a camada de argamassa, esta foi nivelada com uso de uma colher de cozinha e levemente prensada como pistão da matriz para formar uma superfície plana e permitir a marcação da posição das hastes com um gabarito.

Após sua confecção, os corpos-de-prova foram colocados em sacos de polietileno e curados à sombra em laboratório, sendo mantidos nos sacos por 14 dias para evitar a perda rápida de umidade para o ambiente (MARANGON; MARQUES; CAMPOS [198_?], CALMON *et al.* (1988), ABCP (2002)). Após esse período foram retirados dos sacos de polietileno e mantidos sob lona plástica no laboratório para terminar o processo de cura.

Aos 28 dias de cura os corpos-de-prova foram medidos e pesados, para determinação da densidade geométrica, e submetidos a ensaio de flexão de três pontos, no CTGÁS-RN, em máquina Shimadzu AG-I com capacidade de carga máxima de 250 kN, célula de carga Shimadzu de 50 kN, com avanço de 0,5 mm por minuto.

Foram ensaiados a flexão 5 espécimes dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 e apenas dois dos tratamentos T5, T6 e T7, pois todos os espécimes reforçados com bambu trincaram pela dilatação das hastes de bambu devido à absorção de água da argamassa e, por isso, dentre esses, foram selecionados por inspeção visual, os dois menos danificados.

Para avaliar a influência da umidade sobre resistência mecânica, foi selecionado aleatoriamente um corpo-de-prova para cada um dos tratamentos T1 a T4. Esses espécimes foram imersos por 24 horas em água potável antes de serem submetidos ao ensaio de resistência à flexão de três pontos.

Após o ensaio de flexão, foram retiradas amostras dos corpos-de-prova T11, T14, T23, T25, T42 e T62, aleatoriamente escolhidos, para análise da superfície de fratura em microscópio eletrônico de varredura SSX – 550 da marca Shimadzu, sendo utilizado o detector de elétrons secundários e filamento de tungstênio.

As amostras dos corpos-de-prova rompidos foram cortadas manualmente e em policorte, coladas aos porta-amostras com cola de carbono e colocadas em estufa a 110 °C por duas horas para eliminação de água. Após a secagem foi feita a deposição metálica com ouro e observação em microscópio eletrônico de varredura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Solo

Os altos teores de argila e silte (Tab. 2) e o resultado do ensaio de expansão, contração e plasticidade, em que os corpos-de-prova apresentaram intensa fissuração e encolhimentos superiores a 2 cm, indicando a presença de argila ativa (GRANDE, 2003), desqualificam o solo *in natura* para uso em misturas solo-cimento, conforme critérios estabelecidos pelo CEPED e pelas NBR 10832 e NBR 18033.

Tabela 2. Propriedades físicas do solo coletado em topo de tabuleiro na Fazenda Sempre Verde.

Composição granulométrica (dispersão com NaOH 1,5 N)			
A. grossa 2 – 0,2 mm	A. fina 0,2 – 0,05 mm	Silte 0,05 – 0,002 mm	Argila < 0,002 mm
38,2 %	12,4 %	9,7 %	39,7 %

Considerando os resultados acima, realizou-se uma correção granulométrica, conforme recomendado pela bibliografia (DI BERNARDO, CORTÉS, ARAYA, 2001; WALKER, 1994; NEVES, 1978; GRANDE, 2003), que consistiu em misturar quantidades iguais do solo com areia de rio da região, sendo 600 g de cada por corpo-de-prova.

O ensaio de plasticidade do CEPED no solo corrigido evidenciou uma melhora nas características do mesmo. Ocorreu uma menor variação volumétrica, devido à redução da quantidade de argila que é o componente que confere aos solos significativa instabilidade volumétrica (PESSOA, 2004), e uma maior quantidade de fissuras por contração, fato que pode ser explicado pela menor coesão do solo. Segundo Vargas (1977) coesão é a resistência conferida ao solo pela fração de argila (VARGAS, 1977) e como essa fração foi reduzida, espera-se uma maior fissuração.

A textura do solo corrigido difere sensivelmente da textura do solo *in natura*. Teor de areia (areia fina + grossa) próximo de 57 % e de argila próximo de 6 %, quantidade de silte + argila inferior a 50 % e percentual de solo que passa na peneira ABNT 0,075 mm inferior a 15%. Esses resultados credenciam o material para uso em solo-cimento, conforme critérios propostos pelo CEPED e pelas normas NBR 10832 e NBR 10833.

Na distribuição granulométrica há a presença de dois picos de concentração de tamanhos de partículas (distribuição bi modal); um em torno do diâmetro de partícula de 11 μm (silte) e outro em torno do diâmetro de partícula de 200 μm (areia).

Predominam, no solo corrigido, as fases cristalinas caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e, em maior proporção, quartzo (SiO_2) (Fig.1). Resultado coerente com a análise granulométrica, visto que o quartzo “forma os grãos de siltes e areias” (PINTO, 1988, p. 52) e, nessas frações ocorreram os picos de concentração na distribuição granulométrica.

A presença da caulinita, quando comparada com a presença dos outros principais minerais constituintes da argila, favorece uso deste solo em misturas de solo-cimento, pois a caulinita é a menos ativa, sendo relativamente estável na presença de água (CAPUTO, 1988).

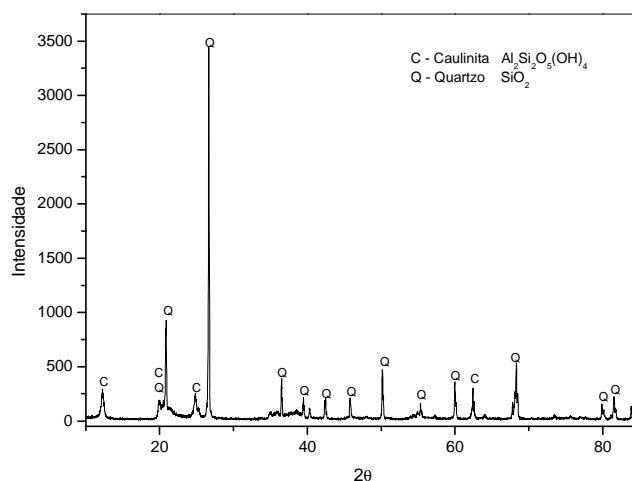


Figura 1. Difratograma do solo corrigido.

Os principais constituintes do solo, observados em ensaio fluorescência de raios-X, são a sílica e alumina, estando presentes em menores percentuais os óxidos de ferro (hematita) e de titânio e outros, em pequenos teores (Tab. 3).

Tabela 3. Principais constituintes do solo corrigido identificados em ensaio de fluorescência de raios-X.

SiO ₂	66,647 %	P ₂ O ₅	0,155 %
Al ₂ O ₃	27,832 %	K ₂ O	0,139 %
Fe ₂ O ₃	2,393 %	SO ₃	0,126 %
TiO ₂	1,868 %	CaO	0,051 %
Na ₂ O	0,374 %	MnO	0,034 %
ZrO ₂	0,362 %	CuO	0,021 %

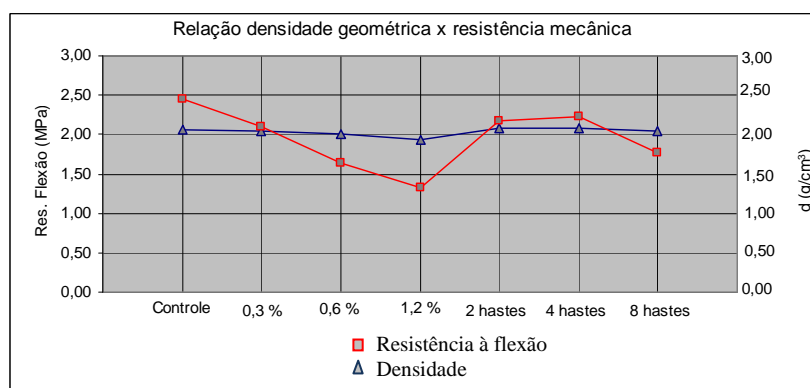
3.2. Densidade Geométrica

O efeito da quantidade de reforço de fibra de coco sobre a densidade geométrica foi positivo (Tab. 4). Estatisticamente, no nível de 0,05 de significância, o tratamento com 0,3 % de fibra de coco (T2) não apresentou variação nessa propriedade, quando comparado com o tratamento controle (T1), entretanto, nos demais tratamentos com esse reforço (T3 e T4), houve uma redução na densidade. Segundo Khedari, Watsthaporn e Hirunlabh (2005) a inclusão de um material menos denso, em substituição ao solo-cimento, resulta no acréscimo do volume total da mistura mesmo após a compactação e esse acréscimo reflete numa diminuição da densidade desse material. Esse fato, segundo Savastano Júnior e Pimentel (2000), é justificável pela reduzida massa específica das fibras, além das mesmas agirem como agentes incorporadores de ar.

Tabela 4. Valores médios do volume e densidade dos corpos-de-prova.

	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)
T1	704,54 ± 4,57	2,06 ± 0,02
T2	718,15 ± 3,26	2,04 ± 0,02
T3	736,57 ± 4,69	2,00 ± 0,01
T4	769,69 ± 3,67	1,93 ± 0,01
T5	708,70 ± 2,16	2,08 ± 0,00
T6	711,56 ± 2,62	2,08 ± 0,01
T7	721,21 ± 0,92	2,04 ± 0,01

Estatisticamente, entretanto, no nível de significância de 0,05, não se verificou a diferença entre as médias das densidades geométricas dos diversos tratamentos, nos quais o reforço utilizado foi o bambu (T5, T6 e T7). Pertinente destacar que nesses tratamentos foram ensaiados apenas os dois corpos-de-prova que menos apresentaram fissuras, o que certamente acarreta uma menor confiança na relação causa e efeito.

**Figura 2. Relação entre os valores de densidade geométrica e resistência mecânica.**

A literatura relata a estreita relação entre a densidade do solo-cimento e a sua resistência mecânica e esse fato é evidenciado na presente pesquisa. Essas propriedades apresentam tendências similares (Fig. 2), ou seja, uma variação na densidade reflete numa modificação no mesmo sentido na resistência mecânica do material.

3.3. Influência da Umidade na Resistência Mecânica

A experiência comprova a substancial diferença entre a resistência mecânica de tijolos de solo-cimento ensaiados a seco e úmidos (HARRISON; SINHA, 1994) e, por isso, procedeu-se ao ensaio de corpos-de-prova após 24 horas de imersão em água.

O espécime T14, ensaiado úmido, apresentou valores da carga máxima, resistência à flexão e energia para falha, estatisticamente, no nível de significância 0,05, inferiores aos da média dos demais espécimes do tratamento T1. Quando comparados os valores médios da carga máxima, da resistência à flexão e da energia para falha, do espécime T14 com essas propriedades dos demais espécimes do tratamento T1, observa-se uma diferença nos valores dessas propriedades respectivamente de 30,44 %, 31,04 % e 47,25 %.

Da análise dos valores da resistência à flexão (Tab. 5) dos corpos-de-prova reforçados com fibra-de-coco ensaiados após imersão em água, observa-se uma redução na resistência com o aumento da quantidade de reforço utilizado. Os valores da resistência à flexão são inferiores à média dos valores dessa propriedade obtida para os corpos-de-prova ensaiados a seco em todos os tratamentos, sendo 31,02 % inferior no lote T1, 32,38 % no lote T2, 39,63 % no lote T3 e 27,82 % no lote T4. Esses dados evidenciam a influência negativa da umidade sobre a resistência mecânica do solo-cimento reforçado com fibra de coco.

3.4. Influência do Reforço na Resistência Mecânica

Os valores médios do limite de resistência à flexão (Tab. 5) apontam para um efeito negativo do reforço sobre essa propriedade, que varia de modo inversamente proporcional à quantidade de reforço utilizado. No nível de significância de 0,05, os resultados mostram que os valores médios do limite de resistência à flexão dos corpos-de-prova reforçados com fibra de coco são inferiores ao valor médio dessa propriedade dos corpos-de-prova sem reforço e, ainda, que esses valores médios decrescem com o aumento na quantidade de reforço.

Tabela 5. Valores médios do limite de resistência à flexão obtidos em ensaio de flexão de três pontos.

	σ_{\max} (MPa)	$\sigma_{\text{água}}$ (MPa)	Redução (%)
T1	2,45 ± 0,28	1,69	31,02%
T2	2,10 ± 0,16	1,42	32,38%
T3	1,64 ± 0,18	0,99	39,63%
T4	1,33 ± 0,2	0,96	27,82%
T5	2,17 ± 0,28	-	
T6	2,22 ± 0,01	-	
T7	1,77 ± 0,05	-	
			Média 32,71%

No nível de significância de 0,05, os valores médios de resistência à flexão dos corpos-de-prova reforçados com bambu apresentaram comportamento similar ao descrito anteriormente para os valores médios da densidade geométrica: não foi estatisticamente possível constatar diferenças na resistência à flexão entre os tratamentos T1, T5 e T6, sendo possível, entretanto, constatar diferenças nos valores médios dessa propriedade quando comparados os tratamentos T1 e T7. Esses dados reforçam a tese da estreita relação entre densidade e resistência mecânica.

Há relatos na literatura de resultados semelhantes ao descrito acima (BOUTH, 2005), sendo a baixa adesão reforço-matriz considerada a principal causa da redução na resistência mecânica do compósito. O fato do reforço não se ligar inteiramente à matriz provoca uma deficiente transferência de carga, load transfer (BOUTH, 2005), da matriz para a fibra e, por isso, pouco da resistência mecânica do reforço é mobilizada e o componente que resiste à tração é a matriz de solo-cimento. Assim, a inclusão do reforço resulta na inclusão de descontinuidades e vazios na matriz, sendo essa a provável causa da redução na resistência mecânica observada.

No que diz respeito ao reforço com bambu, a literatura considera a susceptibilidade à variação do volume na presença de água a sua maior desvantagem. O bambu absorve água da mistura, aumentando de volume e voltando às dimensões originais após a secagem. Isto faz com que a aderência entre os dois materiais fique prejudicada e segundo Lopes, Freire e Ferreira (2002), em se tratando de um material composto, a eficiência na adesão entre os materiais envolvidos é primordial para o bom desempenho do produto.

3.5. Análise da Superfície de Fratura

O aspecto da superfície de fratura corpos-de-prova variou sensivelmente quando comparados os espécimes reforçados e sem reforço. A fratura dos corpos-de-prova sem reforço (T1) se propagou em linha reta (Fig. 3a) e a ruptura ocorreu de modo abrupto, como esperado para um material frágil. Nos corpos-de-prova reforçados observou-se a ocorrência de desvios na evolução das trincas (Figs. 3b e 3c). Esses desvios, resultantes da presença dos elementos de reforço, resultam no aumento da energia necessária para a completa separação (ruptura) do material.

O aumento na energia necessária para a ruptura do material do corpo-de-prova fica evidenciado quando se comparam os gráficos carga x deflexão dos tratamentos com reforço e sem reforço (Fig. 4). O aspecto do gráfico de T15, característico de um material frágil, de baixa ductilidade, mostra que a ruptura do material ocorreu abruptamente logo após a falha.

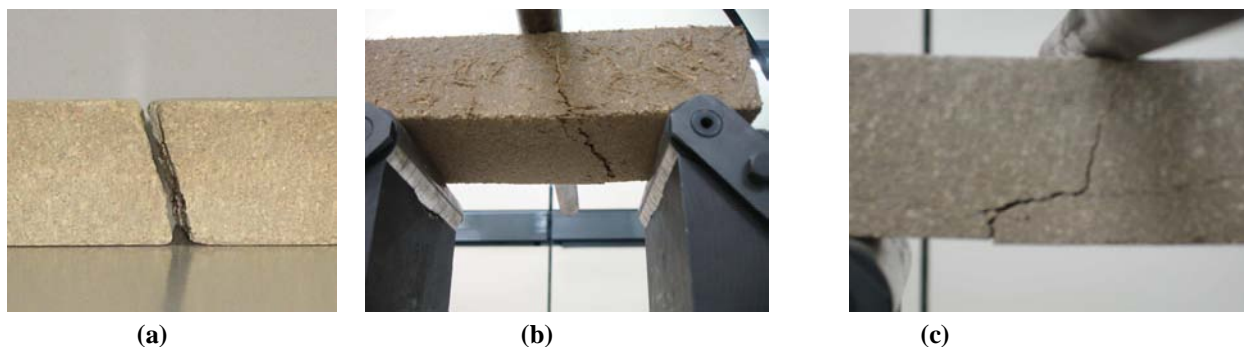


Figura 3. Detalhes dos aspectos das fraturas (a) do corpo-de-prova T15 , sem reforço, (b) de T41, com 1,2 % de fibra de coco, e (c) de T74, reforçado com 8 hastes de bambu.

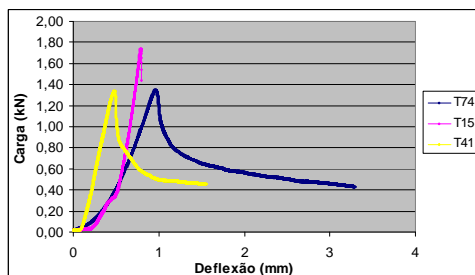


Figura 4. Gráfico comparativo carga x deflexão de T15, sem reforço, de T41, reforçado com fibra de coco e de T74, reforçado com bambu.

Diferente do material sem reforço, os corpos-de-prova reforçados sofreram deflexões significativas após a falha do material, fato que evidencia um ganho nas propriedades de ductilidade e tenacidade do material. Nos corpos-de-prova reforçados a ruptura não ocorreu imediatamente após a falha, sendo para tanto, necessária uma quantidade de energia adicional e ocorrendo deslocamentos significativos antes da ruptura (Fig. 4).

A presença do reforço mantém unidas as partes do material, que não se rompe de modo abrupto. Resultados coerentes com a literatura sobre o assunto, sendo relatadas melhorias das características de ruptura e aumento da ductilidade com a inclusão de fibras naturais e hastes de bambu (VALENCIANO, 1999).

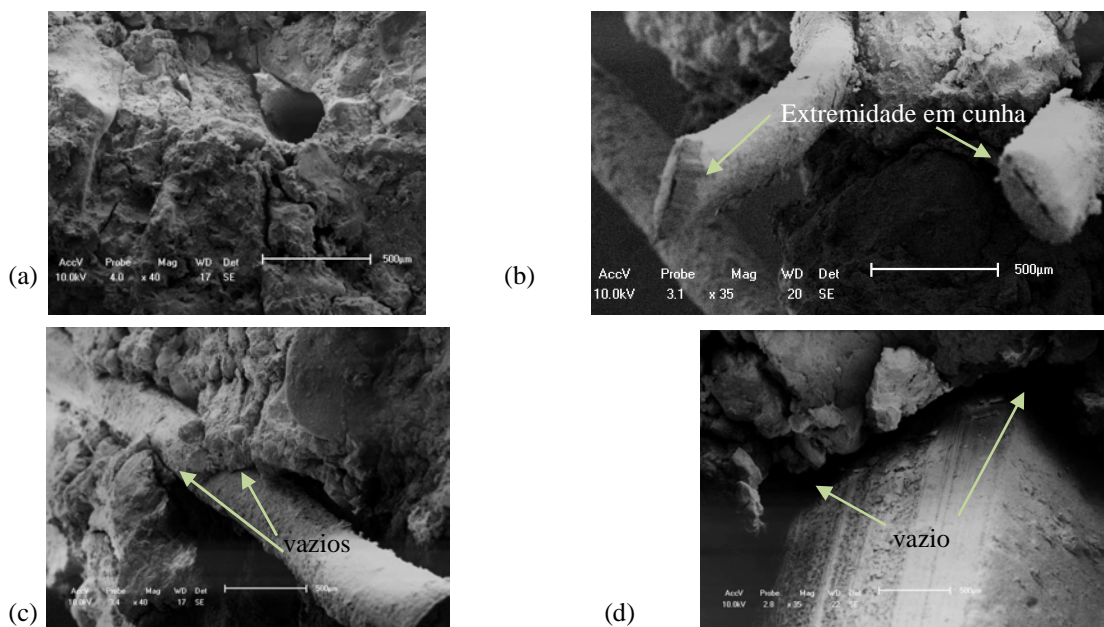


Figura 5. Vista de (a) um vazio causado pelo arrancamento de uma fibra de coco, (b) extremidades em cunha de fibras de coco em matriz de solo-cimento, (c) vazio entre fibra de coco e matriz e (d) vazio entre haste de bambu e matriz.

A análise da superfície de fratura dos corpos-de-prova com reforço indica a ocorrência de falhas na adesão reforço-matriz, não ocorrendo a completa mobilização da resistência mecânica do material de reforço. Observam-se cavidades fruto de arrancamento, *pull out*, do reforço da matriz de solo-cimento (Fig. 5a). Não há indícios de rompimento do material de reforço. As extremidades das fibras mantêm forma de cunha (Fig.5b), resultante do processo de corte. Os contornos dos elementos de reforço apresentam vazios (Figs. 4c e 4d).

Resulta dessas falhas a pouca mobilização da resistência mecânica do reforço. A fibra é arrancada da matriz antes de ser solicitada a ponto de romper-se, pois com a baixa adesão a resistência ao arrancamento é inferior à própria resistência mecânica da fibra.

4. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se verificar que a inclusão de reforço de fibra de coco e hastes de bambu na matriz de solo-cimento resulta num decréscimo na resistência mecânica do material. Esse fato se deve à má adesão do reforço à matriz e conseqüente deficiente transferência de carga da matriz para o reforço (load transfer). A umidade influencia negativamente as propriedades mecânicas de carregamento máximo, resistência à flexão e energia para falha, sendo observadas diferenças nessas propriedades de, respectivamente, 30,44 %, 31,04 % e 47,25 %. A inclusão de reforço de fibra de coco e de hastes de bambu na argamassa de solo-cimento resulta num aumento da absorção da energia necessária para a ruptura do material. Corpos-de-prova de solo-cimento reforçados com fibra de coco romperam-se por colapso parcial e não de forma brusca e repentina, sendo necessário um incremento na energia após a falha para a completa separação do material. A inclusão de reforço de fibra de coco e de hastes de bambu na argamassa de solo-cimento resulta num aumento da ductilidade do material. O solo-cimento reforçado com hastes de bambu e fibras de coco apresenta potencial para o uso proposto neste trabalho; situações em que o material está sujeito também a esforços de tração. Para tanto deverão ser superados os obstáculos (1) da baixa adesão do reforço à matriz, causado principalmente pela variação dimensional devido à absorção de água pelo material de reforço, bem como, (2) da absorção de umidade que resulta num prejuízo da resistência mecânica, visto que esse material deve trabalhar sujeito às intempéries.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Guia básico de utilização de cimento portland. 7. ed. São Paulo, 2002.
- BOUTH, Jorge Alberto Cardoso. Estudo da potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais: uma alternativa de baixo custo para a construção civil. Natal, 2005. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal do Rio Grande do Norte).
- CALMON, João Luiz et. al. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de tijolos e solo-cimento. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído e Qualidade no Processo Construtivo. Florianópolis, 1998.
- CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações: v. 1. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.
- DI BERNARDO, Elio; CORTÉS, Alberto; ARAYA, Lydia. Passive solar building built-in soil-cement. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 18, Florianópolis, 2001.
- DOS ANJOS, Marcos A. S.; GHAVANI, Khosrow; BARBOSA, Normando P. Compósitos a base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu. Parte II: uso de resíduos cerâmicos na matriz. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, 2003. Disponível em: <<http://scholar.google.com.br>>.
- GHAVANI, Khosrow. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. Cement & Concrete Composites, n. 27, p. 637 – 649, 2005. Disponível em: <www.sciencedirect.com>.
- GRANDE, Fernando Mazzeo. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. São Carlos, 2003. Dissertação (Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo).
- HARRISON, Steven W.; SINHA, Braj P. Stabilized soil blocks as an alternative building material for developing nations. In: International Seminar on Structural masonry for Developing Countries, 5, 1994, Florianópolis.
- KHEDARI, J.; WATSANASATHAPORN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity. Cement & Concrete Composites, Bangkok, n. 27, p. 111-116, 2005. Disponível em: <www.sciencedirect.com>.
- LOPES, Wilza G. R. Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas. Campinas, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Construções Rurais e Ambientais).
- LOPES, Wilza G. R.; FREIRE, Wesley J. FERREIRA, Gisleiva C. dos S. Ensaios de arrancamento e de empuxamento aplicados a taliscas de bambu encravadas em corpos-de-prova de solo-cimento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 504 – 510, 2002. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em 23 fev. 2006.
- MARANGON, Márcio; MARQUES, G. L. de Oliveira; CAMPOS, T. M. Pereira de. Comportamento mecânico à durabilidade de dois solos estabilizados com cimento.
- NEVES, Célia M. M. Alternativas tecnológicas para produção de habitações desenvolvidas pelo CEPED-BA. In: Seminário Habitação e Saneamento para Populações de Baixa Renda. [198-?].
- NEVES, Célia M. M. Novos materiais para a melhoria da habitação popular. Camaçari: CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, 1978.

- NEVES, Célia M. M. Soil cement as an environmental friendly building material. In: SIMPOSIUM ON CONSTRUCTION & ENVIRONMENT:THEORY INTO PRACTICE. 2000, São Paulo.
- PESSOA, Francisco Hélio Caitano. Análises dos solos de urucu para fins de uso rodoviário. Distrito Federal, 2004. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil Universidade de Brasília).
- PINTO, Carlos de Souza. Propriedades dos Solos. In: HACHICH, Waldemar et al. Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini., 1988. Cap. 2, p. 51 – 118.
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade de aproveitamento de resíduos vegetais para fins de obtenção de material de construção. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 103 – 110, 2000. Disponível em: <<http://scholar.google.com.br>>.
- SPECHT, Luciano Pivoto. Comportamento de misturas solo-cimento-fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação. Porto Alegre, 2000. Dissertação (Mestrado Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- TRINDADE, Tiago Pinto da et al. Latossolo vermelho-amarelo reforçado com fibras de polipropileno de distribuição aleatória: estudo em laboratório. Revista Esc. Minas, Ouro Preto, v. 57, n. 1, jan. / mar., 2004. disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 23 fev. 2006.
- VALENCIANO, M. D. C. M. Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento. Campinas, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Construções Rurais) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 1999.
- VARGAS, Milton. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo: McGraw-Hill, 1977.
- WALKER, P. J. Properties of Stabilized Soil Blocks. In: 5th. International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries. 1994, Florianópolis.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

STUDY OF THE MECHANICAL EFFECT OF THE INCLUSION OF COCONUT FIBER AND BAMBOO REINFORCEMENT IN SOIL-CEMENT STRUCTURES

Guillermo van Erven Cabala, gcabala@ifba.edu.br¹

Wilson Acchar, acchar@dfte.ufrn.br²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Av. David Jonas Fadini, s/ nº, 45820-000, Eunápolis-BA, Brasil.

²Departamento de Física, Universidade federal do Rio grande do norte 59072-970, Natal-RN, Brasil.

Abstract: *In this work the use of coconut fiber (coir) and bamboo shafts as reinforcement of soil-cement was studied, in order to obtain an alternative material to make stakes for fences in rural properties. The main objective was to study the effect of the addition of reinforcement to the soil-cement matrix. The effect of humidity on the mechanical properties was also analyzed. The soil-cement mortar was composed by a mixture, in equal parts, of soil and river sand, 14 % in weight of cement and 10 % in weight of water. As reinforcement, different combinations of (a) coconut fiber with 15 mm mean length (0,3 %, 0,6 % and 1,2 % in weight) and (b) bamboo shafts, also in crescent quantities (2, 4 and 8 shafts per specimen) were used. For each combination 6 specimens were made and these were submitted to three point flexural test after 28 days of cure. In order to evaluate the effect of humidity, 1 specimen from each of the coconut fiber reinforced combination was immersed in water 24 hours prior to flexural test. The results of the tests carried out indicated that the addition of the reinforcement affected negatively the mechanical resistance and, on the other hand, increased the tenacity and the ductility of the material.*

Keywords: soil-cement; reinforcement; coconut fiber (coir); bamboo.