

DOSAGEM DE MISTURAS DE SOLO-CIMENTO-CINZA DE CASCA DE ARROZ ATRAVÉS DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS

Ana Paula S. MILANI¹, Wesley J. FREIRE²

¹ Eng^o. Civil, Aluna de Pós-Graduação da FEAGRI/UNICAMP, Cidade Universitária Zeferino Vaz – Campinas – SP, (0xx1937881050), e-mail: ana.silva@agr.unicamp.br.

² Eng^o Agrônomo, Prof. Titular, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

RESUMO: No Brasil existem sérios problemas ambientais no que se refere à extração indiscriminada de recursos naturais e à constante geração de resíduos agroindustriais. Buscando soluções que minimizem esta degradação ambiental, os autores estudaram a dosagem de misturas de solo arenoso + cimento + cinza de casca de arroz por meio de ensaios destrutivos e não-destrutivos. Para tal, foi realizado o ensaio de compactação das diferentes misturas de solo-cimento-cinza, e, a partir do teor ótimo de umidade de cada mistura, foram confeccionados corpos-de-prova de solo-cimento-cinza de casca de arroz. Após cura úmida durante 7 dias, os corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios de compressão simples e de ultra-som. Os resultados obtidos indicaram que o solo arenoso, quando substituído pelos teores de 2,5%; 5%; 7,5% e 10% de cinza e estabilizados com 7%, 10% e 13% de cimento, apresentou-se como promissor material alternativo a ser utilizado em construções rurais e/ou urbanas.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo agroindustrial, solo estabilizado, material alternativo.

DOSAGE STUDY OF MIXTURES OF SOIL-CEMENT- RICE HUSK ASH THROUGH DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE METHODS

ABSTRACT: *The environmental concern related to the indiscriminate extraction of Brazilian natural resources and the ceaseless agricultural and industrial waste generation became a serious problem demanding for a quick solution. So this work was done in order to minimize the environment degradation by accomplishing dosage study of mixtures made of soil-cement- rice husk ash through destructive and non-destructive methods. For this purpose, the different mixtures of soil-cement-rice husk ash were tested for compaction and the specimens molded at the optimum moisture content. Afterwards they were submitted to compression tests at 7 days old and to ultrasonic pulse velocity tests. The obtained results showed that the sandy soil partially substituted by 2,5%; 5%; 7,5% and 10% of ash and stabilized with 7%, 10% and 13% of cement pointed out its promising use as an alternative material for use in both rural and urban constructions.*

KEYWORDS: agricultural and industrial waste, soil stabilization, alternative construction material.

INTRODUÇÃO: O resgate do uso da terra como material de construção tem se intensificado ultimamente, tendo sido seu comportamento físico-mecânico melhorado através da estabilização com aglomerantes minerais. Ainda concentrada na fabricação de um material de menor impacto ambiental, a utilização das cinzas vegetais como material pozolânico para a obtenção de aglomerantes alternativos tem-se destacado. A maior parte das pesquisas concentra-se nas cinzas de casca de arroz, pois fatores como o grande conteúdo de cinza (entre 18% e 20%) originário da queima da casca de arroz, seu elevado teor de sílica, o tipo de estrutura física da sílica (estrutura alveolar, de grande

superfície específica) e a disponibilidade da casca de arroz, contribuem para o destaque deste resíduo e sua utilização como material pozolânico. Estudos indicam que o processo de calcinação da casca de arroz é a chave para a atividade pozolânica da cinza resultante, visto que as cinzas de casca de arroz que apresentam em sua composição alto teor de sílica amorfa (obtidas através de processos de queima com temperaturas controladas entre 400 e 700 °C) são consideradas adequadas para produção de cimentos pozolânicos (FREIRE, 1991). Evidentemente, nem toda casca é queimada sob temperaturas controladas, e esse tipo de processo acaba gerando cinzas com presença de sílica cristalina, quimicamente inativas. Considerando-se que grande parte das pesquisas enfocam as cinzas de casca de arroz de alta pozolanidade, estende-se a necessidade dos estudos às cinzas de baixa atividade pozolânica. Portanto, nesta pesquisa, incorporou-se este tipo de cinza de casca de arroz a misturas de solo-cimento como carga mineral (“filler”), possibilitando destino final a este resíduo, assim como sua possível utilização como material de construção.

MATERIAIS E MÉTODOS: Para a execução da presente pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: cinza de casca de arroz, coletada em fomalha da beneficiadora Broto Legal; solo, pertencente à classe textural arenosa; cimento Portland CP-III-32, da marca Votoran; máquina universal, para a realização do ensaio mecânico, e aparelho portátil de ultra-som, da marca STEINKAMP/BP7, para a realização do ensaio não-destrutivo. A metodologia aplicada à pesquisa observou o disposto nas normas técnicas pertinentes, sendo executados os seguintes procedimentos:

1. *Procedimentos aplicados à cinza de casca de arroz:* para efetuar um estudo sobre a influência da granulometria (finura) da cinza no comportamento físico-mecânico das misturas de solo-cimento-cinza, foram adotados dois tipos de cinza a serem adicionados aos solos: cinza CCA-A (material passante na peneira de 0,6 mm de abertura de malha) e cinza CCA-B (material compreendido entre as peneiras de 0,6 mm e 0,15 mm de abertura de malha). Posteriormente, foram realizados ensaios de caracterização física das cinzas.

2. *Procedimentos aplicados às misturas de solo-cimento-cinza de casca de arroz:* a cinza foi utilizada como carga mineral (“filler”) para a substituição parcial do solo, sendo adotadas, para estudo de dosagem, diversas combinações de solo-cinza de casca de arroz, as quais foram estabilizadas com diferentes teores de cimento (% em relação à massa seca da mistura solo-cinza). As diferentes misturas de solo-cimento-cinza foram submetidas ao ensaio de compactação de Proctor Normal para a determinação da massa específica aparente seca máxima (M_{max}) e umidade ótima (h_{ot}) e posteriormente foram confeccionados corpos-de-prova (ϕ 5 cm x 10 cm de altura) de cada mistura, os quais foram curados durante 7 dias em câmara úmida e analisados os seguintes parâmetros: resistência à compressão simples, aos 7 dias, e velocidade de propagação da onda ultra-sônica aos 2, 4 e 7 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O solo utilizado na presente pesquisa foi classificado, segundo a AASHTO, como A₂₋₄. A cinza de casca de arroz (CCA) coletada em fomalha sem controle efetivo de temperatura ($\cong$ 150 °C) apresentou massa específica de 2,18 g/cm³ e superfície específica de 12,68 m²/g. A CCA, após passar pelo processo de peneiramento, apresentou as seguintes características:

Tabela 1: Caracterização física das cinzas de casca de arroz.

Cinzas	Distribuição em tamanho - # peneiras			Massa unitária
	(0,60 -2,00 mm)	(0,15 -0,60 mm)	(< 0,15 mm)	
CCA (cinza direto da fomalha)	31,31%	59,93%	8,76%	0,14 g/cm ³
CCA-A (passante # 0,6 mm)	-	74,40%	25,60%	0,21 g/cm ³
CCA-B (entre #0,6mm e 0,15 mm)	-	99,37%	0,63%	0,17 g/cm ³

A análise de variância referente aos efeitos das adições no solo mostrou que o fator teor de cinza promoveu efeitos significativos nas variáveis massa específica aparente seca máxima (M_{max}) e velocidade de ultra-som (V) dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza. Tanto para as misturas de solo-cimento-CCA-A como para as misturas de solo-cimento-CCA-B, quanto maiores foram os teores de cinza adicionados às misturas, menores foram os valores de M_{max} e de V, sendo estas variações estatisticamente significativas (Tabela 2 e Figuras 1 e 2). Essa semelhança de comportamento pode ser

explicada pela relação existente entre as propriedades físicas do solo-cimento compactado com M_{max} e V , pois quanto mais homogênea a estrutura, maior M_{max} e melhor será a forma de propagação da onda. Para todas as misturas, as curvas de acompanhamento de velocidade de propagação da onda ultrassônica (Figuras 1 e 2) mostraram um aumento significativo da velocidade ao longo dos 7 dias, revelando a ocorrência gradativa das reações de hidratação do cimento no sistema solo-cimento-cinza. Quanto aos resultados do ensaio destrutivo, a análise de variância referente aos efeitos das adições no solo mostrou que o fator teor de cimento promoveu efeitos significativos na variável resistência à compressão simples (R_c) dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza. Tanto para as misturas de solo-cimento-CCA-A como para as misturas de solo-cimento-CCA-B, os valores de R_c diminuíram, significativamente, conforme a redução dos teores de cimento (Tabela 2).

As velocidades e densidades dos corpos-de-prova apresentaram semelhante comportamento quando relacionadas ao ensaio de compressão simples, sendo que, independente do tipo de cinza a ser adicionada à mistura, o teor de cimento e de cinza foram os fatores relevantes para o bom desempenho físico-mecânico das misturas solo-cimento-cinza.

Segundo estudos de NEVES (1988), o valor de resistência à compressão simples de 1 MPa é o mínimo necessário para que as misturas de solo-cimento posteriormente possam ser utilizadas como componentes construtivos. Dessa forma, apenas a mistura de 90% de solo arenoso + 10 % de cinza estabilizada com 7% de cimento não atendeu a esta recomendação.

Analisando o teste de Tukey aplicado aos dados e seguindo o critério de maior teor de cinza aliado ao valor mínimo de resistência à compressão simples, as misturas de solo-cimento-cinza indicadas para um maior aprofundamento nos estudos de caracterização física, mecânica e térmica do material formado foram:

- T1 – (100% de solo + 0% de cinza CCA-A) estabilizado com 7% de cimento
- T2 – (100% de solo + 0% de cinza CCA-A) estabilizado com 10% de cimento
- T3 – (100% de solo + 0% de cinza CCA-A) estabilizado com 13% de cimento
- C3 – (92,5% de solo + 7,5% de cinza CCA-A) estabilizado com 7% de cimento
- C7 – (92,5% de solo + 7,5% de cinza CCA-A) estabilizado com 10% de cimento
- C11 – (92,5% de solo + 7,5% de cinza CCA-A) estabilizado com 13% de cimento
- C8 – (90% de solo + 10% de cinza CCA-A) estabilizado com 10% de cimento
- C12 – (90% de solo + 10% de cinza CCA-A) estabilizado com 13% de cimento

Tabela 2: Massa específica aparente seca máxima M_{max} . (g/cm^3); teor de umidade ótimo h_{ot} (%) e resistência à compressão simples R_c (MPa), aos 7 dias de idade, dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinza de casca de arroz (cada valor representa a média aritmética de 3 repetições).

Mistura de solo-cimento-cinza de casca de arroz	Cinza CCA - A			Cinza CCA - B		
	M_{max}	h_{ot}	R_c	M_{max}	h_{ot}	R_c
T0 – solo arenoso	1,925	11,37	0,53	1,925	11,37	0,53
T1 – 100%solo+0%cinza+7%cim	1,956 a	11,57	2,95 de	1,956 a	11,57	2,95 cd
C1 – 97,5%solo+2,5%cinza+7%cim	1,890 b	12,23	2,41 ef	1,860 b	13,93	2,34 de
C2 – 95%solo+5%cinza+7%cim	1,785 c	14,80	1,86 fg	1,772 c	14,77	1,98 ef
C3 – 92,5%solo+7,5%cinza+7%cim	1,686 e	15,77	1,32 gh	1,648 e	15,97	1,22 fg
C4 – 90%solo+10%cinza+7%cim	1,566 g	17,90	0,85 h	1,538 g	18,13	1,03 g
T2 – 100%solo+0%cinza+10%cim	1,967 a	11,50	3,68 cd	1,967 a	11,50	3,68 c
C5 – 97,5%solo+2,5%cinza+10%cim	1,895 b	12,17	3,74 cd	1,882 b	13,30	3,78 c
C6 – 95%solo+5%cinza+10%cim	1,793 c	14,53	3,02 de	1,764 c	15,00	3,19 cd
C7 – 92,5%solo+7,5%cinza 10%cim	1,700 de	16,43	2,44 ef	1,680 d	16,27	2,35 de
C8 – 90%solo+10%cinza+10%cim	1,605 f	17,13	1,74 fg	1,586 f	18,60	1,93 ef
T3 – 100%solo+0%cinza+13%cim	1,974 a	11,40	6,57 a	1,974 a	11,40	6,57 a
C9 – 97,5%solo+2,5%cinza+13%cim	1,889 b	11,60	5,15 b	1,871 b	12,73	5,03 b
C10 – 95%solo+5%cinza+13%cim	1,796 c	14,53	4,46 bc	1,781 c	14,97	3,18 cd
C11 – 92,5%solo+7,5%cinza+13%cim	1,714d	16,03	3,73 cd	1,697 d	15,60	2,64 de
C12 – 90%solo+10%cinza+13%cim	1,607 f	18,10	2,50 ef	1,602 f	18,30	1,96 ef

Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

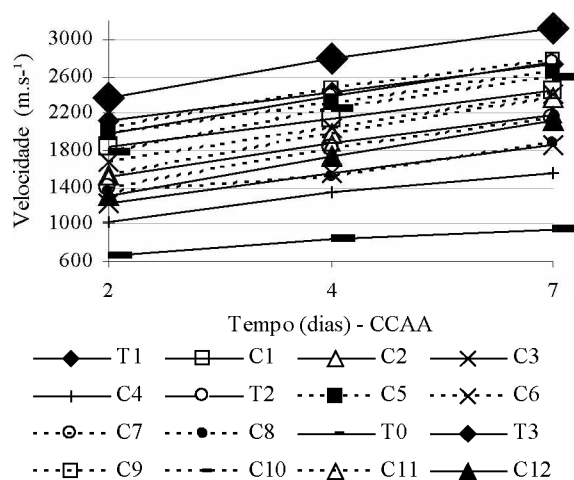


Figura 1. Velocidade da onda ultra-sônica em função do tempo nos corpos-de-prova de solo-cimento-CCA-A.

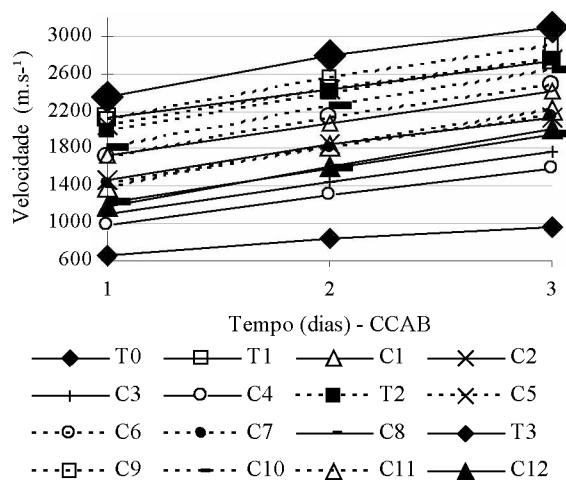


Figura 2. Velocidade da onda ultra-sônica em função do tempo nos corpos-de-prova de solo-cimento-CCA-B.

CONCLUSÃO: De modo geral, os valores de massa específica aparente seca máxima, de resistência à compressão simples e de velocidade da onda ultra-sônica das misturas de solo-cimento-cinza de casca de arroz decresceram com o aumento do teor de cinza na composição. A distribuição em tamanho dos dois tipos de cinza utilizados nas misturas de solo-cimento não influenciou significativamente as propriedades estudadas. Os resultados promissores para a confecção de componentes construtivos foram expressos pelos tratamentos com solo arenoso substituído pelos teores de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% de cinza (em massa) e estabilizados com 7%, 10% e 13% de cimento (em massa).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- FREIRE, W. J. Materiais Alternativos de Construção. In: BERALDO, A. L.; NAAS, I. A.; FREIRE, W. J. **Construções rurais: materiais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991. p. 105-61.
- NEVES, C. M. M. Desempenho de paredes – Procedimento adotado para paredes monolíticas de solo-cimento. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 1988. p. 58-64.