

PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS

JÚLIO CÉSAR DA CUNHA GOBO¹, ANANDA HELENA NUNES CUNHA², REGIS DE CASTRO FERREIRA³.

¹ – Aluno de Graduação e Iniciação Científica, Setor de Eng^a Rural, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Goiânia – Go, Fone: (0XX62) 3521-1534, juliogobo_agro@yahoo.com.br.

² – Aluna de Graduação e Iniciação Científica, Setor de Eng^a Rural, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Goiânia – Go.

³ – Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr., Setor de Eng^a Rural, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Goiânia – Go.

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

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo pesquisar o efeito da incorporação de resíduos vegetais “in natura” sobre as propriedades físico-mecânicas de tijolos de solo-cimento. Foram utilizados dois tipos de resíduos vegetais (cascas de arroz e de braquiária) e utilizou-se o cimento Portland CP II-F-32 para a composição dos tratamentos. O teor de cimento usado na estabilização do solo foi de 10%. Já os teores de resíduo foram de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% adicionados em substituição ao cimento. Desta forma, foram variados os teores de cimento e resíduo desde 100% de cimento e 0% de resíduo, até 60% de cimento e 40% de resíduo. Os tijolos foram prensados com o auxílio de uma máquina de fabricação de tijolos e submetidos aos ensaios de compressão simples e absorção de água. Os melhores resultados, em termos de resistência à compressão simples e capacidade de absorção de água foram obtidos pelos tratamentos com substituição de 10% de resíduos vegetais em relação ao teor de cimento. De forma geral, os resultados sugerem a possibilidade do uso destes resíduos no teor de 10%, sem o comprometimento das propriedades mecânicas relacionadas à resistência e a durabilidade dos tijolos de solo-cimento.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo agroindustrial, tijolos de terra crua, resistência à compressão.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL-CEMENT BRICKS WITH INCORPORATION OF VEGETABLE WASTES

ABSTRACT: The aim of this research was to study the effect of the vegetable wastes addition under the physical and mechanical properties of soil-cement bricks. It was used two types of wastes (rice husk and *Brachiaria brizantha* one). The cement Portland content used on the soil stabilization was 10%. The vegetable wastes contents were 0%, 10%, 20%, 30% and 40% added in substitution to the cement. The bricks were submitted to the compression tests and to the water absorption test. The best results, in terms of compression strength and water absorption capacity were reached by the 10% addition of vegetable wastes in substitution to the cement. The results suggest the promising use of these wastes, at the 10% content, without the compromising of the mechanical properties related to the resistance and to the durability of soil-cement bricks.

KEYWORDS: vegetable wastes, stabilized soil brick, compression strength.

INTRODUÇÃO: Já há algum tempo se faz presente em inúmeros setores produtivos a preocupação com a sustentabilidade, que deve envolver uma visão ecológica, social e econômica. O uso de tecnologias apropriadas em construções rurais ou urbanas que levem à racionalização dos recursos disponíveis, à diminuição dos custos dos processos construtivos e ao melhor aproveitamento da mão-de-obra local deve ser, portanto, considerado. A operacionalização dessas tecnologias pode ser feita através do uso isolado ou combinado de materiais e técnicas construtivas, convencionais ou não, tais como: terra crua, solo-cimento, bambu, compósitos biomassa-vegetal-cimento, etc (FERREIRA, 2003). O uso da casca de arroz tem sido recentemente objeto de diversas pesquisas com o intuito de melhorar as características físico-mecânicas de argamassas e/ou de materiais de construção baseados em terra-crua (AKASAKI; SILVA, 2001). Tais resíduos, quando disponíveis próximos das áreas que são produzidos e associados à utilização de solos locais, podem produzir soluções de baixo custo para a fabricação de materiais de construção baseados em terra crua. Nessa mesma linha, surge a possibilidade de pesquisar a casca da semente de braquiária. O presente trabalho teve como objetivo pesquisar o efeito da incorporação de resíduos vegetais “in natura” sobre as propriedades físico-mecânicas de tijolos de solo-cimento.

MATERIAL E MÉTODOS: Foram utilizados um solo e resíduos vegetais (casca de arroz e casca de braquiária) previamente triturados, peneirados, tratados e caracterizados por Oliveira e Ferreira (2005). O tratamento dos resíduos consistiu na imersão em solução de cal hidratada concentrada a 5% por um período de 24 horas e secados a 80°C em estufa por 48 horas. A casca de arroz em sua condição triturada e tratada apresentou massa unitária de 0,152 g/cm³, cerca de 90% da sua massa apresentou-se com diâmetro variando de 1,19 mm a 0,42 mm. E a casca de braquiária na mesma condição triturada e tratada apresentou-se a massa unitária de 0,096 g/cm³ e 91,48% da sua massa apresentou-se com diâmetro variando de 2,38 mm a 0,42 mm. Nos Quadros 1 e 2 são apresentados, respectivamente, as características físicas do solo e os valores da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima de compactação, fornecidos pelos ensaios de compactação normal de Proctor, realizados por Oliveira e Ferreira (2005).

Quadro 1. Características físicas do solo estudado.

Solos	Distribuição granulométrica			Índices físicos ¹				Classificação
	areia	sílte	argila	Mesp	LL	LP	IP	AASHTO ²
Natural	31,94	5,87	62,19	3,38	41,7	28,0	13,7	A7
Corrigido	55,82	21,21	22,97	2,72	21,1	16,3	4,8	A4

¹Mesp - Massa específica aparente seca (g/cm³); LL - Limite de Liquidez; LP - Limite de Plasticidade e IP - Índice de Plasticidade.

²American Association of State Highway and Transportation Officials

Quadro 2. Massa específica aparente seca máxima (g/cm³) e umidade ótima de compactação (%) das misturas solo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal.

Massa específica (g/cm ³)								
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
1,82	1,77	1,73	1,73	1,68	1,79	1,73	1,72	1,70
Umidade ótima (%)								
T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
16,72	17,72	18,64	18,25	19,31	16,94	18,56	19,05	19,91

¹ T₁ – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T₂ – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T₃ – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T₄ – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T₅ – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T₆ – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária + 90% de cimento); T₇ – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T₈ – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T₉ – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento).

Foi utilizado o cimento Portland CP II-F-32 para a composição dos tratamentos. Para a definição dos tratamentos adotou-se o teor de 10% de cimento baseado nas recomendações de Sherwood (1993). Os teores de resíduos foram definidos em função daqueles estudados por Akasaki e Silva (2001). Os resíduos

foram adicionados em substituição ao cimento. Dessa forma, foram variados os teores de cimento e de resíduo vegetal desde 100% de cimento e 0% de resíduo, até 60% de cimento e 40% de resíduo (em relação ao teor de 10% de cimento) conforme se segue: T₁ - 0% de resíduo + 100% de cimento; T₂ - 10% de casca de arroz + 90% de cimento; T₃ - 20% de casca de arroz + 80% de cimento; T₄ - 30% de casca de arroz + 70% de cimento; T₅ - 40% de casca de arroz + 60% de cimento; T₆ - 10% de casca de braquiária + 90% de cimento; T₇ - 20% de casca de braquiária + 80% de cimento; T₈ - 30% de casca de braquiária + 70% de cimento; e T₉ - 40% de casca de braquiária + 60% de cimento.

Os tijolos foram moldados com o auxílio de uma máquina de fabricação de tijolos da marca TECMOR, de acionamento manual, de capacidade de fabricação de três tijolos por prensagem, tijolos tipo II (23 x 11 x 5 cm³), de acordo com a norma NBR 08491 (ABNT, 1984a). Após a prensagem, os tijolos foram levados à câmara úmida para cura durante o período de 7 dias, após os quais foram armazenados à sombra até os 91 dias de idade. Aos 7, 28, 56 e 91 dias após a moldagem, os tijolos foram rompidos à compressão simples, conforme a NBR 08492 (ABNT, 1984b).

O ensaio de absorção de água dos tijolos foi realizado de acordo com os procedimentos da NBR 08492 somente para a idade de 7 dias. Cada tratamento foi conduzido em três repetições. Foram realizadas análises de variância para avaliar o efeito das interações entre os fatores tipo e teor de cascas sobre as variáveis resposta resistência à compressão simples e capacidade de absorção de água. As médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A Tabela 1 apresenta os resultados de resistência à compressão simples e capacidade de absorção de água dos tijolos estudados.

TABELA 1. Resistência à compressão simples (MPa) e absorção de água (%) dos tijolos moldados para as diferentes misturas de solo-cimento-resíduos vegetais.

Trat ^o s	Resistência à Compressão Simples (MPa)				Absorção de Água (%)
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	7 dias
T ₁ ¹	3,00 ± 0,27 (9,08) a C ²	3,07 ± 0,05 (1,68) a C	4,80 ± 0,52 (10,88) a A	3,83 ± 0,09 (2,23) a B	11,42 ± 3,41 (29,90) b
T ₂	1,82 ± 0,09 (4,91) b D	2,25 ± 0,05 (2,30) b C	2,89 ± 0,16 (5,59) b A	2,52 ± 0,05 (1,96) b B	12,97 ± 3,06 (23,59) ab
T ₃	1,34 ± 0,05 (3,86) c C	1,52 ± 0,04 (2,57) c BC	2,21 ± 0,06 (2,92) c A	1,77 ± 0,07 (3,81) c B	13,78 ± 3,75 (27,20) ab
T ₄	1,07 ± 0,07 (6,28) cd B	1,21 ± 0,04 (3,21) cd AB	1,40 ± 0,18 (12,73) d A	1,54 ± 0,03 (2,09) cd A	16,42 ± 5,79 (35,27) ab
T ₅	0,98 ± 0,02 (1,99) d A	1,03 ± 0,00 (0,00) d A	1,00 ± 0,13 (13,42) e A	1,15 ± 0,03 (2,82) d A	18,51 ± 4,97 (26,88) ab
T ₆	1,53 ± 0,15 (10,11) bc C	2,16 ± 0,07 (3,25) b B	2,61 ± 0,28 (10,78) b A	2,35 ± 0,11 (4,83) b AB	9,68 ± 1,83 (18,90) b
T ₇	1,07 ± 0,07 (6,28) cd B	1,17 ± 0,05 (4,40) d B	1,58 ± 0,06 (4,08) d A	1,33 ± 0,05 (3,70) d AB	9,82 ± 0,71 (7,20) b
T ₈	0,83 ± 0,07 (8,16) d B	0,91 ± 0,03 (3,71) de AB	0,91 ± 0,12 (12,80) e AB	1,16 ± 0,07 (5,79) d A	15,14 ± 4,51 (29,79) ab
T ₉	0,62 ± 0,03 (5,44) e B	0,69 ± 0,07 (10,20) e B	1,00 ± 0,15 (15,23) e A	1,01 ± 0,07 (6,62) d A	19,96 ± 7,47 (37,42) a

¹ T₁ - solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T₂ - solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T₃ - solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T₄ - solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T₅ - solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T₆ - solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária + 90% de cimento); T₇ - solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T₈ - solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T₉ - solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); ² Valores médios ± desvio padrão (coeficiente de variação, em %). - Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. - Em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Conforme esperado os valores de resistência à compressão simples dos tijolos diminuíram com o acréscimo do resíduo vegetal (Tabela 1). Assim, os melhores resultados em termos de resistência foram obtidos para os tijolos com 10% de casca em substituição ao cimento. O maior valor médio de resistência foi de 4,80 MPa obtido para o tratamento T₁ (0% de resíduo + 100% de cimento) aos 56 dias de cura e o menor valor de resistência foi de 0,62 MPa obtido pelo T₉ (40% de resíduo + 60% de cimento) aos 7 dias de cura.

Com relação aos valores de resistência à compressão simples aos 7 dias de idade, o maior valor médio de resistência foi de 3,00 MPa obtido pelo tratamento T₁, seguido pelo valor de 1,82 MPa do tratamento T₂. Por outro lado, os piores desempenhos foram alcançados pelos tratamentos T₈ e T₉, (com os valores de 0,83 e 0,62 MPa, respectivamente). Adotando-se o valor de 1,5 MPa como resistência mínima aceitável aos 7 dias, somente os tratamentos T₁, T₂ e T₆ podem ser enquadrados. No geral, a resistência apresentada pelos tratamentos aos 56 dias se mostrou superior à resistência apresentada pelos tratamentos aos 7, 28 e aos 91 dias (Tabela 1), sugerindo uma influencia negativa das condições de armazenamento em longo termo.

Em termos de capacidade de absorção de água, todos os tratamentos aplicados aos tijolos arenosos atenderam às especificações da NBR 08492, que estabelece, como máximo, o valor médio de 20% e nenhum valor superior a 22%. Conforme a Tabela 1, as menores capacidades de absorção de água foram alcançados pelos tratamentos T₆ e T₇, em que houve a adição de 10% e 20% de casca de braquiária, o que não era de se esperar. Esperava-se um melhor desempenho do tratamento T₁, devido a maior quantidade de cimento e ausência de resíduos vegetais (que conferem menor massa específica aparente ao solo e maior volume de poros). Os maiores valores de capacidade de absorção de água ocorreram nos tratamentos T₅ e T₉ devido à presença de maior quantidade de resíduo vegetal (40% de substituição do cimento, pelo resíduo vegetal).

CONCLUSÕES: Adotando-se o valor de 1,5 MPa como resistência mínima aceitável aos 7 dias de idade, a substituição parcial do teor de cimento por casca de arroz, poderá ser realizada nos tratamentos com 10% e 20% de resíduo e para casca de braquiária no teor de 10% de resíduo. Em termos de absorção total de água a substituição parcial do teor de cimento por casca de arroz ou de braquiária poderá ser utilizada em todos os teores avaliados. Para fins de aplicação prática, solos com características semelhantes ao estudado, tratados com cimento e incorporados com os teores de resíduos recomendados, mostram-se promissores como materiais para utilização na fabricação de tijolos em instalações rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AKASAKI, J.L. SILVA, A.P. Estudo de composições do solo estabilizado com cal e resíduos agroindustriais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. Cd Rom.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 08491** - Tijolo Maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984a. 4 p.
- _____. Rio de Janeiro. **NBR 08492**. Tijolo Maciço de solo-cimento. Determinação da Resistência à Compressão e Absorção de Água. Rio de Janeiro, 1984b. 8p.
- FERREIRA, R.C.; FREIRE, W.J. Propriedades físico-mecânicas de solos estabilizados com cimento e silicato de sódio avaliadas por meio de testes destrutivos e não-destrutivos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.221-232, 2003.
- SHERWOOD, P.T. **Soil stabilization with cement and lime: state of the art review**. London: HMSO, 1993. 153p.
- OLIVEIRA, M. F.; FERREIRA, R. de C. Propriedades físico-mecânicas de misturas de solo estabilizado com cimento e resíduos vegetais “*in natura*”. In: Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG, 2, 2005, Goiânia, GO. **Anais ...** Goiânia: UFG, 2005. Cd Rom.