

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO INCORPORADOS COM RESÍDUOS VEGETAIS PELA COMBINAÇÃO DE TESTES DESTRUTIVOS E NÃO-DESTRUTIVOS

CUNHA, Ananda Helena Nunes¹; FERREIRA, Regis de Castro².

Palavras-chave: tijolo de solo-cimento, ultra-som, resistência anisotrópica.

1. INTRODUÇÃO

O uso da terra crua isolada ou associada à aditivos químicos e/ou resíduos de atividade agrícola tem se mostrado como uma excelente alternativa técnica e econômica para uso em construções rurais. A avaliação do grau de estabilização de misturas de solos tratados com aditivos é feita por meio de ensaios destrutivos físico-mecânicos. Entretanto, algumas caracterizações podem ser realizadas por intermédio de ensaios não-destrutivos. O método ultra-sônico consiste na impulsão de vibrações longitudinais por pulsos periódicos em frequências entre 20 kHz a 100 kHz usando um transdutor eletro-acústico (emissor) acoplado à superfície do material (QASWARI, 2000). CULTRONE *et al.* (2001) propuseram que os estudos da qualidade técnica de materiais de construção poderiam ser preferencialmente executados mediante ao uso de testes não-destrutivos. E adotaram o parâmetro “resistência anisotrópica” para avaliar a qualidade de materiais. Assim, pretende-se com este trabalho estudar a otimização do uso de resíduos vegetais “in natura” na fabricação de tijolos de solo-cimento e recomendar parâmetros que combinem critérios qualitativos e quantitativos para a avaliação da qualidade desses tijolos.

2. METODOLOGIA

Foram utilizados dois tipos de resíduos (cascas de arroz e de braquiária), previamente trituradas, fracionadas, tratadas 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 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 obteve a massa unitária de 0,096 g/cm³ e 83% da sua massa apresentou-se com diâmetro variando de 2,00 mm a 0,105 mm. Tão logo foram coletados, os solos foram submetidos a ensaios de caracterização segundo normas brasileiras (Tabela 1) (OLIVEIRA; FERREIRA, 2005). Os tijolos referentes a cada tratamento de solo-cimento-resíduos foram moldados de acordo com a norma NBR 08491 (ABNT, 1992).

Tabela 1. Características físicas do solo estudado.

Solos	Distribuição granulométrica			Mesp	Índices físicos ¹			Classificação AASHTO ²
	areia	silte	argila		LL	LP	IP	
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. ² American Association of State Highway and Transportation Officials.

¹ Bolsista de iniciação científica CNPq/PIVIC – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos - EAEA – Departamento de Engenharia Rural, anandahelena@yahoo.com.br

² Orientador/Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos/UFG, rcastro@agro.ufg.br

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), utilizando-se nove tratamentos, 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. A anisotropia total foi calculada pela equação:
$$\Delta M = 100 \left[1 - \frac{2V_1}{(V_2 + V_3)} \right]$$
 (CAZALLA, *et al.*,

1999), em que ΔM , corresponde à anisotropia total (%); V_1 , à velocidade medida na menor distância do tijolo ($m.s^{-1}$); V_2 , à velocidade medida na distância média do tijolo ($m.s^{-1}$); e V_3 , à velocidade medida no comprimento do tijolo ($m.s^{-1}$). Estas velocidades foram obtidas através do aparelho de ultra-som da marca PROCEQ, de origem suíça. Pela combinação dos resultados da resistência à compressão simples (R_C), previamente determinados e da anisotropia total (ΔM), foi calculada a resistência anisotrópica (R_A , em MPa/%) dos tijolos obtida mediante a equação:

$R_A = \frac{R_C}{\Delta M}$. A massa específica aparente foi obtida antes do teste destrutivo. As

propriedades elásticas foram analisadas através do módulo de elasticidade dinâmico (E_d , em MPa) obtido para cada idade e tratamento mediante a seguinte expressão $E_d = \rho V^2 \cdot 10^{-6}$, em que ρ , corresponde à massa específica aparente do tijolo ($kg.m^{-3}$) e V , à velocidade de propagação do pulso ultra-sônico ($m.s^{-1}$). Já o módulo de elasticidade (em MPa) foi calculado mediante os valores de tensão e de deformação (registrada durante o ensaio de compressão simples por meio de um relógio comparador digital da marca MITUTOYO acoplado à prensa hidráulica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores resultados de anisotropia total tendem a aumentar pela maior presença de espaços vazios nos tijolos que interferiram na propagação da onda ultra-sônica, originando diferenças significativas entre os valores de velocidade nas três direções dos tijolos. Maiores valores de R_A indicam uma baixa anisotropia, geralmente associada à menor presença de espaços vazios e uma maior resistência mecânica (Tabela 2). Enquanto baixos valores da resistência anisotrópica indicam uma alta anisotropia associada a uma menor resistência mecânica e uma maior presença de espaços vazios, provocando, conseqüentemente, uma diminuição na qualidade dos tijolos. Percebe-se que à medida que houve um incremento de resíduo vegetal e aumento das idades, houve também uma diminuição da massa específica aparente dos tijolos. O menor valor foi de T₉ aos 91 dias.

Para cada idade, os valores de resistência anisotrópica alcançados pelos tratamentos compostos pela incorporação de casca de arroz foram superior àqueles alcançados pelos tratamentos compostos de casca de braquiária.

Quanto às características elásticas, tanto os valores médios do módulo de elasticidade (E), obtido de forma destrutiva, quanto aqueles obtidos de forma não-destrutiva (E_d) tenderam a aumentar com o período de cura. O maior valor de E foi de 4524,03 MPa, observado aos 56 dias para o solo com teor de cimento de 10% (T₁) e o menor valor foi de 159,37 MPa, observado aos 28 dias para o T₉. Já para o E_d , o maior valor foi de 6423,07 MPa, observado, também, aos 56 dias para o solo

com teor de cimento de 10%, e o menor valor foi de 37,76 MPa, observado aos 7 dias, também para o T_9 . De acordo com Calame, *apud* BUYLE-BODIN *et al.* (1990), o adobe tradicional pode apresentar módulo de elasticidade entre 200 MPa e 300 MPa, o que indica uma baixa resistência mecânica e uma alta deformação quando submetidos aos esforços mecânicos.

O módulo de elasticidade dinâmico depende fortemente da velocidade de propagação da onda ultra-sônica. Sendo assim, seus valores variaram de acordo com os resultados obtidos durante o acompanhamento da velocidade, ou seja, os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos 1 e 2. O período de cura também afetou fortemente os valores do módulo de elasticidade, sendo mais elevados para as maiores idades. De uma forma geral, os valores do módulo de elasticidade dinâmico, obtido de forma não-destrutiva, foram maiores que os valores do módulo de elasticidade, obtido de forma destrutiva.

4. CONCLUSÃO

Os efeitos dos fatores adições vegetais e período de cura, bem como suas interações, proporcionaram diferenças estatisticamente significativas nos valores da resistência anisotrópica dos tijolos. Com os resultados obtidos pode-se afirmar que a qualidade dos tijolos permite ser avaliada mediante a combinação dos efeitos do estresse mecânico e da estrutura anisotrópica dos mesmos, e confirma a “resistência anisotrópica” como um parâmetro quantitativo viável para o uso no controle e na avaliação da qualidade de tijolos de solo-cimento-resíduos-vegetais.

5. LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 08491**. Tijolo Maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1992a. 8p.
- BUYLE-BODIN, F.; CARBILLAC, R.; DUVAL, R. e LUHOWIAK, W. Stabilisation d'un torchis par liant hydraulique. In: Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials (RILEM **Proceedings of the Second International Symposium** - Salvador, BA, Brazil, September 1990). SOBRAL, H.S. (ed.). London, Chapman and Hall, 1990. p. 182-192
- CAZALLA, O; SEBASTIÁN, E.; CULTRONE, G.; NECHAR, M.; BAGUR, M.G. Three way ANOVA interaction analysis and ultrasonic testing to evaluate air lime mortars used in cultural heritage conservation projects. **Cement & Concrete Research**, v. 29. p. 1749-1752. 1999.
- CULTRONE, G.; SEBASTIÁN, E, CAZALLA O.; NECHAR, M.; ROMERO, R.; BAGUR, M.R. Ultrasound and mechanical tests combined with ANOVA to evaluate brick quality. **Ceramics International**, v. 27. p. 401-406. 2001.
- 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, 2, 2005, Goiânia, GO. **Anais ...** Goiânia: UFG, 2005. Cd Rom.
- QASRAWI, H.Y. Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. **Cement and Concrete Research**, v.30, p.739-746. 2000.

TABELA 2. Valores médios da resistência anisotrópica (MPa/%) e do módulo de elasticidade dinâmico (MPa) aos 7, 28, 56, 91 e 182 dias, de tijolos confeccionados com diferentes tratamentos de solo.

Trat ^o s	Resistência anisotrópica (MPa/%)					Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)				
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	182 dias	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	182 dias
T ₁ ¹	0,27a C	0,35 a B	0,37 a B	0,49 a A	0,34 a B	6131,42 a B	4972,34 a C	6423,07a B	6396,67 a B	6865,12 a A
T ₂	0,05 b B	0,08 b AB	0,14 b A	0,14 b A	0,12 b AB	1839,37 b C	1885,19 b C	4056,37 b A	3469,89 b B	3418,82 b B
T ₃	0,02 b B	0,05 b AB	0,09bcB	0,07bcAB	0,12 b A	429,64 c C	1314,83 c B	2357,94 c A	1594,23 d B	2567,49 c A
T ₄	0,02 b A	0,02 b A	0,04 c A	0,05 c A	0,05 c A	241,95 cd C	313,06 de C	1252,76 d A	845,65 e B	881,41 e AB
T ₅	0,02 b A	0,02 b A	0,04 c A	0,03 c A	0,05 c A	184,86 d B	137,68 de B	672,35 e A	449,97 f A	615,76 e A
T ₆	0,05 b B	0,06) b B	0,09bcB	0,11bcAB	0,14 b A	1850,52 b C	1692,40 b C	2550,54 c B	2692,56 c B	3281,60 b A
T ₇	0,03 b A	0,03 b A	0,05) c A	0,08 bc A	0,06 c A	581,55 c B	464,36 d B	1398,96 d A	1118,88 e A	1447,22 d A
T ₈	0,03 b A	0,02 b A	0,02 c A	0,04 c A	0,05 c A	240,47 cd B	117,07 de B	402,00 ef B	633,56 f A	851,30 e A
T ₉	0,01 b A	0,02 b A	0,02 c A	0,07 bc A	0,01 c A	37,76 d A	68,40 e A	136,35 f A	276,92 f A	193,96 f 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). 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.