UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENAÇÃO GERAL DE PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL VOLUNTÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA

RELATÓRIO PARCIAL

Titulo do projeto de pesquisa do orientador: APLICAÇÃO DE MISTURA ADITIVADA DE SOLO-CIMENTO-RESÍDUOS VEGETAIS NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS PRENSADOS DE TERRA CRUA	
Título do sub-projeto de pesquisa: QUALIDADE DE TIJOLOS PRENSADOS DE SOLO-CIMENTO-RESÍDUOS VEGETAIS “IN NATURA” AVALIADA PELA COMBINAÇÃO DE TESTES DESTRUTIVOS E NÃO-DESTRUTIVOS Número do cadastro na PRPPG: 2942	
Nome do(a) bolsista, e-mail, fone: ANANDA HELENA NUNES CUNHA anandahelena@yahoo.com.br, (62) 3317-1206	
Orientador (a) do projeto: Prof. Dr. Regis de Castro Ferreira	
Unidade acadêmica: Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos	
Curso: Agronomia	
Departamento: Engenharia Rural	
Tempo no projeto: 1 ano	
Data de início do projeto: 01 de agosto de 2005	Data da conclusão do projeto: 31 de julho de 2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

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 (FERREIRA, 2003).

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, argamassa armada, paredes monolíticas, elementos pré-fabricados, bambu, compósitos, biomassa vegetal-cimento, etc. Entretanto, a escolha do material ou técnica mais apropriados vai depender, dentre outros aspectos, dos recursos disponíveis no local, da mão-de-obra a ser empregada e da finalidade e durabilidade preconizadas para a construção (FERREIRA, 2003).

A terra crua, por ser um material de grande disponibilidade e baixo custo, vem se mostrando como uma excelente alternativa técnica e econômica para uso em construções rurais, principalmente sob a forma de tijolos ou blocos prensados e não queimados. Seu uso isolado ou associado à aditivos químicos e/ou resíduos de atividade agrícola, industrial ou agroindustrial, tais como: cimento, cal, silicato de sódio, cinzas e fibras vegetais (casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, sisal, bambu, etc), cinzas volantes, escória de alto forno, dentre outros, vem sendo objeto de inúmeras pesquisas com a finalidade de melhorar sua resistência à compressão simples, seu comportamento sob a ação da água e sua durabilidade em longo prazo (FERREIRA, 2003).

Por outro lado, no meio rural, ou nas agroindústrias, é notória a geração de uma grande quantidade de resíduos, para os quais ainda não se encontrou uma adequada destinação. Normalmente, tais resíduos são dispostos na natureza, agredindo-a, ou então, são queimados sem nenhum tipo de controle.

Entretanto, algumas caracterizações podem ser realizadas por intermédio de ensaios não-destrutivos. No caso do concreto e da madeira, o método acústico do ultra-som já vem sendo utilizado há vários anos para determinação de diversos parâmetros, tais como resistência à compressão simples e módulo de elasticidade dinânico (FERREIRA; FREIRE, 2004).

Mais recentemente, o uso do ultra-som tem sido relacionado à avaliação da qualidade técnica de diferentes materiais de construção. Da mesma forma, métodos de avaliação de qualidade de materiais através da combinação de ensaios destrutivos e não-destrutivos estão em constante desenvolvimento (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; JAUBERTHIE *et al*, 2003). De acordo com Beraldo e Tojal (2001), a grande vantagem do uso da casca de arroz como um agregado alternativo reside no fato de que sua geração é concentrada em poucos locais, o que facilita a sua comercialização. Além disso, a granulometria do material é relativamente uniforme, o que facilita a dosagem do compósito. Situação semelhante ocorre com os resíduos oriundos das usinas de beneficiamento de sementes de forrageiras como as do capim brachiaria (*Brachiaria brizantha*). A casca que envolve a semente, na maioria das vezes, pela inexistência de um aproveitamento mais adequado, é descartada.

Diante deste contexto, a presente pesquisa torna-se de grande importância para a obtenção de novos produtos que acompanhem o processo tecnológico e minimizem a degradação ambiental. 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.

REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com Taylor (1992), o cimento Portland é uma substância alcalina, composta, em sua maior parte, de silicatos e aluminatos de cálcio que, por hidrólise, dão origem a compostos cristalinos hidratados e gel. Os cristais que se formam apresentam formas alongadas, prismáticas, ou formas de agulhas de monossilicatos de cálcio hidratados e de aluminatos hidratados; esses cristais aciculares acabam se entrelaçando à medida que avança o processo de hidratação, criando a estrutura que vai assegurar a resistência típica das pastas, argamassas e concretos (TAYLOR, 1992).

Conforme Milani (2005), os solos tratados com cimento desenvolvem valores de coesão e atrito interno muito superiores àqueles obtidos a partir do solo original. No entanto, a estabilidade do solo-cimento é conseguida principalmente à custa da hidratação do cimento e não pela coesão e atrito interno dos componentes; daí poder-se utilizar, praticamente, todos os solos e combinações de solos para fins de solo-cimento.

O termo “estabilização do solo” corresponde a qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas, se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento, do que o solo primitivo (MILANI, 2005).

A estabilização do solo consiste em qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas, se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento, do que o solo primitivo. Modernamente se adota a prática de estabilizar solos com aditivos químicos, tais como o cimento e a cal. E mais recentemente, com a crescente conscientização ecológica, resíduos vegetais oriundos da atividade agroindustrial (cascas de arroz e da semente do capim brachiaria, bagaço de cana de açúcar, etc.), têm sido associados ao solo-cimento (FERREIRA, 2004).

Na estabilização do solo com cimento ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento, formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo a ele resistência inicial; paralelamente, ocorrem reações iônicas que provocam a troca de catíons das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento adicionado. Devido a esta troca, o solo torna-se mais granular, a adesividade é reduzida e a sensibilidade

à variação de umidade e a variação volumétrica se tornam menores (MILANI, 2005).

O tijolo é utilizado em alvenarias (parede, por exemplo). Portanto, para tal fim, as principais propriedades mecânicas a serem consideradas dizem respeito à sua resistência (capacidade de absorver esforços) e à sua elasticidade, ou seja, recuperação de sua forma inicial após a retirada do esforço (MILANI, 2005).

A resistência mecânica (R) de um material pode ser definida como sua capacidade-limite quando submetido à uma carga ou força (em quilograma-força , kgf; tonelada-força, tf; ou em Newton, N). A resistência é normalmente expressa ou em quilogramas-força por centímetro quadrado (kgf/cm^2), ou em Newton por milímetro quadrado (N/mm^2) ou em mega Pascal (MPa), (ALVES, 1999). Ainda, quando submetido a esforços (compressão, tensão, flexão, cisalhamento, etc.) são verificadas tensões internas (kgf/cm^2, N/mm^2, MPa) de acordo com a natureza do esforço. Já a deformação específica (ε) é definida com o efeito da carga atuante (alongamento, encurtamento, flecha, etc.).

Sabe-se que um material deforma quando sujeito a esforços (compressão, tração, flexão, cisalhamento, etc.) e, em geral, a intensidade da deformação é diretamente proporcional à intensidade do esforço (carga ou força). Em Resistência dos Materiais, a lei de Hooke explica esse comportamento: “um mesmo corpo sofrendo tração (ou compressão) terá uma determinada deformação, se o esforço dobrou, a deformação dobrará” (BOTELHO, 1998).

O parâmetro físico que quantifica o comportamento dos materiais quanto à deformação, quando sujeitos às tensões, é denominado de módulo de elasticidade (E, em kgf/cm^2; MPa). O módulo de elasticidade é expresso matematicamente como sendo a relação entre a tensão (σ, em kgf/cm^2 ou em MPa) e a deformação específica (ε, adimensional), e constitui em um dos conceitos mais importantes em Resistência dos Materiais (BOTELHO, 1998).

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. Sendo assim, técnicas baseadas na propagação da onda ultra-sônica são obviamente vantajosas.

Por sua vez, o método acústico do ultra-som permite conhecer a velocidade de propagação do som através de vários materiais. O método consiste na impulsão de vibrações longitudinais por pulsos periódicos em freqüências entre 20 kHz a 100 kHz usando um transdutor eletro-acústico (emissor) acoplado à superfície do material. A impulsão vibratória é convertida em um sinal elétrico por um segundo transdutor (receptor), permitindo a medida do tempo de propagação da onda através do material. O tempo (μs) decorrido da emissão à recepção é então medido, obtendo-se a velocidade ($m.s^{-1}$) (QASWARI, 2000). No caso do concreto e da madeira, o método acústico do ultra-som já vem sendo utilizado há vários anos para a determinação de diversos parâmetros, tais como resistência à compressão simples e módulo de elasticidade dinâmico (módulo de elasticidade obtido de forma não destrutiva).

Para tijolos de solo estabilizados, o método do ultra-som pode ser útil para a predição da resistência mecânica, do módulo de elasticidade dinâmico, para o acompanhamento da evolução do processo de pega, bem como para a detecção de patologias na alvenaria (ALMEIDA, 1999).

O método acústico do ultra-som também vem sendo usado para se avaliar o comportamento mecânico de materiais de construção submetidos a estresses mecânicos. Nesse sentido, Papargyris, et al. (2001) relacionaram o comportamento acústico de tijolos cerâmicos em relação ao seu comportamento mecânico. Segundo os autores, a emissão acústica pelo ultra-som é um teste promissor para se monitorar a integridade de materiais e seus mecanismos de fraturas durante ensaios de compressão simples. Além disso, por ser a emissão acústica um processo dinâmico, o comportamento da onda ultra-sônica pode ser estudado quando o material é submetido ao estresse mecânico, fornecendo informações úteis a respeito de sua resistência e estrutura.

Mais recentemente, o uso do ultra-som tem sido relacionado à avaliação da qualidade técnica de diferentes materiais de construção. Da mesma forma, métodos de avaliação da qualidade de materiais através da combinação de ensaios destrutivos e não-destrutivos estão em constante desenvolvimento. Cultrone *et al*. (2001) avaliaram a influência de diferentes matérias-primas e temperaturas do forno na qualidade de tijolos queimados. A mensuração da qualidade foi realizada por meio do parâmetro quantitativo proposto pelos

autores e denominado de resistência anisotrópica que combina os resultados da resistência à compressão simples (ensaio destrutivo) e anisotropia total dos tijolos para a mensuração de sua qualidade.

De acordo com Cazalla *et al*. (1999), a anisotropia total é um parâmetro qualitativo obtido de forma não destrutiva que expressa a estrutura anisotrópica de um material.

De acordo com Ross *et al*. (1998), a avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material, sem alterar suas capacidades de uso, através do exame visual, ensaios químicos, mecânicos, técnicas de vibração, propagação de ondas, emissões acústicas, raios-X, etc.

Assim, o uso da resistência anisotrópica como um parâmetro para mensurar a qualidade de um tijolo é baseado na relação entre o estresse físico produzido no tijolo durante o ensaio de compressão simples e um parâmetro matemático (sua estrutura anisotrópica). Quanto maior o valor da resistência anisotrópica, melhor será a qualidade do material (CULTRONE *et al.*, 2001).

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL:

- Estudar a viabilidade da combinação de métodos destrutivos e não-destrutivos associados à análise estatística, para a avaliação da qualidade de tijolos prensados de terra crua tratada com cimento e resíduos vegetais "in natura" (cascas de arroz e da semente do capim brachiaria - *Brachiaria brizantha*). A fim de simplificar a interpretação estatística dos dados, será adotado o parâmetro “resistência anisotrópica” definido por Cultrone *et al.* (2001).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- realizar ensaios não-destrutivos através do método acústico do ultra-som juntamente ao de compressão simples e estudar as relações entre a velocidade de propagação da onda ultra-sônica e as propriedades mecânicas de tijolos prensados de solo-cimento-resíduos vegetais "in natura";
- definir e recomendar equações que expressem a resistência à compressão dos tijolos em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica para as diferentes misturas solo-cimento-resíduos vegetais "in natura" a serem estudadas;
- Obter as propriedades elásticas dos tijolos através da determinação do módulo de elasticidade dinâmico obtido de forma não-destrutiva.
- recomendar parâmetros que combinem critérios qualitativos e quantitativos para a avaliação da qualidade dos tijolos a serem estudados.

METODOLOGIA

Foram utilizados solos e resíduos vegetais previamente caracterizados por Oliveira e Ferreira (2005) e utilizados no presente trabalho, por ser tratar de uma continuação do trabalho citado. O solo utilizado foi retirado de uma jazida localizada no município de Goiânia no Residencial Nossa Morada, localizada na região nordeste de Goiânia, em setembro de 2004. Após a coleta dos solos, os mesmos foram encaminhados ao Laboratório de Engenharia Rural da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG, onde foram passados em peneira nº 4 (abertura de malha igual a 4,76 mm), e acondicionados em sacos plásticos até o momento de serem utilizados (OLIVEIRA; FERREIRA, 2005).

Os resíduos vegetais, cascas de arroz e da semente de capim braquiária (Figura 1), ambos “in natura”, foram obtidos em usinas de beneficiamento de arroz e forrageiras, respectivamente. Foi utilizado o cimento Portland CP II-F-32, (NBR 11578, conforme ABNT, 1991), para a composição dos tratamentos.

a) b)

Figura 1. Resíduos vegetais “in natura” estudados: a) casca de arroz; b) casca de braquiária. Fonte: Oliveira e Ferreira (2005).

De acordo com Oliveira e Ferreira (2005), os resíduos vegetais foram triturados em moinho de martelo e peneirados (utilizando a fração das cascas compreendida entre 4,8 mm e 0,42 mm de aberturas de malha) eliminando-se a fração fina, promovendo-se a uniformização e melhoria da adesão das cascas ao sistema solo-cimento.

Após a trituração e o peneiramento, os resíduos foram imersos em solução de cal hidratada comum CH III da marca Supercal, concentrada a 5%

por um período de 24 horas e secados em estufa por um período de 48 horas, a uma temperatura de 80°C, de acordo com as recomendações de SILVA e FREIRE (2004). Tal procedimento foi necessário para se evitar a incompatibilidade química entre a biomassa vegetal e o aglomerante mineral (Figura 2).

a) b)

Figura 2. Resíduos vegetais triturados e tratados: a) casca de arroz; b) casca de braquiária.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores da massa específica aparente seca máxima e da umidade ótima de compactação, fornecidos pelos ensaios de compactação normal de Proctor, as distribuições granulométricas dos resíduos casca de arroz e casca de braquiária no estado natural e triturada e tratada, as características físicas do solo e, respectivamente, estudados por Oliveira e Ferreira (2005).

Tabela 1. Massa específica aparente seca máxima (g/cm^3) 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] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento).

Fonte: Oliveira e Ferreira (2005).

Tabela 2. Distribuição granulométrica do resíduo casca de arroz.

Casca de arroz					
Natural			Triturada e tratada		
Abertura da malha (mm)	% Retida	% Acumulada	Abertura da malha (mm)	% Retida	% Acumulada
4,76 (# 4)[1]	0,11	0,11	4,76 (# 4)	0,00	0,00
2,00 (# 10)	41,17	41,28	2,00 (# 10)	0,51	0,51
1,19 (# 16)	48,70	89,98	1,19 (# 16)	17,28	17,79
0,59 (# 30)	8,74	98,72	0,59 (# 30)	62,17	79,96
0,42 (# 40)	0,57	99,29	0,42 (# 40)	11,14	91,10
Fundo	0,71	100,00	Fundo	8,90	100,00
Casca de braquiária					
Natural			Triturada e tratada		
Abertura da malha (mm)	% Retida	% Acumulada	Abertura da malha (mm)	% Retida	% Acumulada
4,76 (# 4)[1]	0,05	0,05	4,76 (# 4)	0,00	0,00
2,00 (# 10)	76,09	76,14	2,38 (# 8)	27,31	27,31
1,19 (# 16)	15,35	91,49	1,19 (# 16)	32,34	59,65
0,59 (# 30)	6,76	98,25	0,59 (# 30)	23,41	83,06
0,42 (# 40)	0,95	99,20	0,42 (# 40)	8,42	91,48
Fundo	0,80	100,00	Fundo	8,52	100,00

[1] Os valores em parênteses se referem à numeração das peneiras de acordo com a NBR 07181 (ABNT, 1984a).

Fonte: Oliveira e Ferreira (2005).

Tabela 3. 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

Fonte: Oliveira e Ferreira (2005).

O preparo do solo e todas as moldagens dos tijolos foram realizados no Laboratório de Engenharia Rural da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG e todos os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil da UFG.

Para a realização dos ensaios mecânicos foram utilizados equipamentos do Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Para os ensaios de compressão simples dos tijolos foi utilizada uma máquina universal de ensaios (prensa hidráulica) marca DYNATEST, com dispositivo de controle de velocidade de carregamento e capacidade de 25.000 kN (Figura 3). Os tijolos foram moldados com o auxílio de uma máquina de fabricação de tijolos da marca TECMOR, de acionamento manual, para compactação da mistura fresca (Figura 4). Esta máquina, usualmente utilizada na confecção de tijolos de solo-cimento, tem capacidade

de fabricação de três tijolos por prensagem, tijolos tipo II (23 x 11 x 5 cm^3), de acordo com a NBR 08491 (ABNT, 1984b).

Figura 3. Máquina universal de ensaios da marca DYNATEST.

Figura 4. Máquina de fabricação de tijolos da marca TECMOR.

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 Silva e Freire (2004) e por Akasaki e Silva (2001).

Os resíduos foram adicionados em substituição ao cimento. Dessa forma, foram variados os teores de cimento e de resíduo 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:

- T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento);
- T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento);
- T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento);
- T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento);
- T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento);
- T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento);
- T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento);

- T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e
- T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento). O tratamento T_1 foi utilizado como testemunha.

Os procedimentos aplicados aos tijolos referentes à sua moldagem, cura e determinação de sua resistência à compressão, e descritos a seguir, foram realizados pelo bolsista de Iniciação Científica Júlio César da Cunha Gobo no sub-projeto de pesquisa intitulado "Incorporação de resíduos vegetais "in natura" e seus efeitos sobre as propriedades físico-mecânicas de tijolos de solo-cimento". Optou-se em descrevê-los com intuito de auxiliar no entendimento da obtenção dos valores de resistência à compressão simples (obtidos de forma destrutiva) que associados aos parâmetros obtidos de forma não destrutiva constitui no objeto do presente sub-projeto.

Os tijolos referentes a cada tratamento de solo-cimento-resíduos foram moldados de acordo com a NBR 08491. Uma vez preparada à mistura de solo-aditivo, os tijolos foram moldados no teor de umidade ótima de compactação normal de Proctor (previamente determinado), adicionando-se aos poucos a água de amassamento até se obter uniformidade de mistura para colocação nas fôrmas. Para garantir que os tijolos fossem submetidos à pressão de compactação semelhante à do Proctor normal, executou-se uma regulagem da prensa de tijolos relacionando-se a massa do tijolo com a massa do corpo-de-prova, e admitindo-se que ambos tivessem a mesma massa específica aparente seca máxima e a mesma umidade ótima.

Apesar da máquina manual de fabricação de tijolos apresentar-se com três fôrmas para moldagem de três tijolos ao mesmo tempo, conforme Mesa Valenciano e Freire (1999), a energia de compressão aplicada pela mesma é variável, sendo as fôrmas laterais mais deficientes. Portanto foi apenas utilizado a fôrma de posição central da máquina. Após tais procedimentos, as misturas de solo-cimento-resíduos foram colocadas no molde central da prensa e então realizadas as prensagens, de acordo com os procedimentos indicados pela NBR 10832 (ABNT, 1989).

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 e protegidos das intempéries climáticas até os 182 dias de idade. Aos 7, 28, 56,

91 e 182 dias após a moldagem, os tijolos foram rompidos à compressão simples, conforme a NBR 08492 (ABNT, 1984c).

Os tijolos foram preparados de acordo com os procedimentos indicados pela NBR 08492. Após o endurecimento da pasta de cimento, foram rompidos à compressão simples. A resistência à compressão simples foi calculada individualmente para cada tijolo, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do mesmo. A resistência média foi determinada pela média aritmética de 3 repetições.

A velocidade de propagação da onda ultra-sônica foi determinada por intermédio de um aparelho portátil de ultra-som marca PROCEQ, de origem suíça, com emissão do impulso na freqüência de 54 kHz e dotado de dois transdutores de contato (seção plana), um emissor e outro receptor da onda ultra-sonora (Figura 5). O esquema de funcionamento de um aparelho de ultra-som está representado na Figura 6.

Figura 5. Aparelho de ultra-som utilizado no experimento.

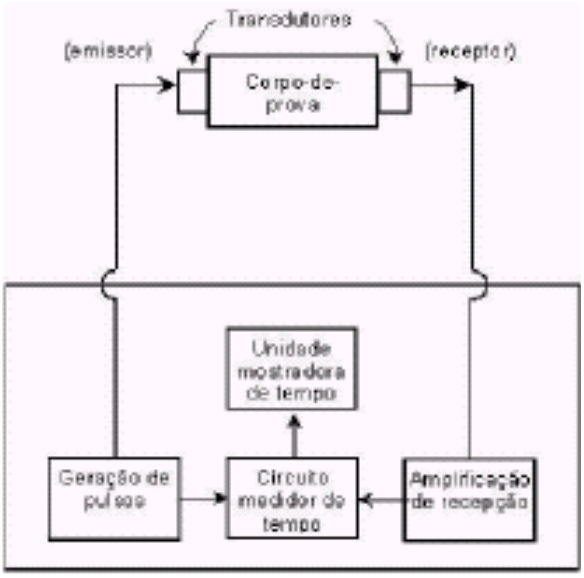

Figura 6. Esquema de funcionamento do aparelho de ultra-som. Fonte: adaptado de HAMASSAKI (1987).

As correlações entre a velocidade da onda ultra-sônica (V, em $m.s^{-1}$) e a resistência à compressão simples (R, em MPa) dos tijolos para cada tratamento foram dadas pela função *R = f(V).*

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 na menor distância do tijolo ($m.s^{-1}$); V_2, à velocidade na distância

média do tijolo ($m.s^{-1}$); e V_3, à velocidade no comprimento do tijolo ($m.s^{-1}$), como ilustra a Figura 7. A Figura 8 ilustra o teste ultra-sônico sendo realizado.

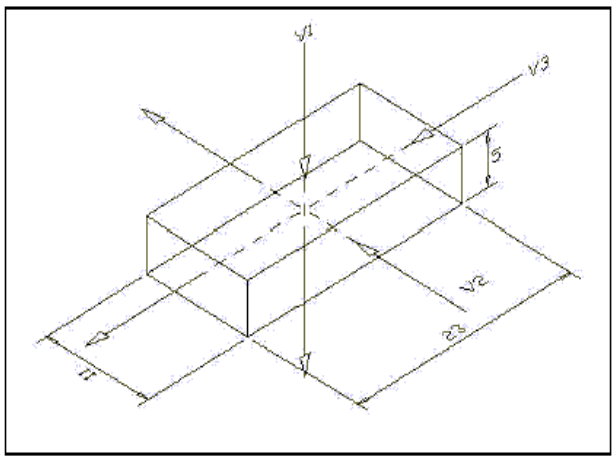

Figura 7. Eixos de leitura da velocidade nos tijolos (dimensões em centímetros).

Figura 8. Determinação da onda ultra-sônica.

As propriedades elásticas das diferentes misturas de solo-cimento foram analisadas através do módulo de elasticidade dinâmico (Ed), obtido de forma não destrutiva e o módulo de elasticidade (E), obtido de forma destrutiva. O módulo de elasticidade dinâmico foi obtido para cada período de cura mediante a orientação do *American Society for Testing Material*s, pelo método de ensaio C-1597 – "Pulse Velocity Through Concrete" (ASTM, 1983), citado por Hamassaki (1987), que relaciona a velocidade de ondas ultra-sônicas num sólido, com algumas propriedades físicas desse sólido. De acordo com o mesmo autor, o Ed pode ser obtido pela seguinte expressão $Ed = \rho V^2.10^{-6}$, 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 registrados durante o ensaio de compressão simples por meio de um relógio comparador digital da marca MITUTOYO (Figura 9) acoplado à prensa hidráulica (Figura 10).

Figura 9. Detalhe do relógio comparador digital da marca MITUTOYO.

Figura 10. Detalhe do relógio acoplado à prensa hidráulica.

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5 x 5. Uma análise de variância de terceira ordem foi realizada. Nessa análise foram estudados os efeitos das interações entre os fatores tipo de resíduo (cascas de arroz e de brachiaria), teor de resíduo (0%, 10%, 20%, 30% e 40%) e idade (7, 28, 56, 91 e 182 dias) sobre os valores das variáveis respostas resistência anisotrópica e módulo de elasticidade dinâmico. Os resultados destas variáveis respostas serão comparados entre si pelo Teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4, 5 e 6 apresentam os valores das velocidades de propagações da onda ultra-sônica para os três eixos de leitura nos tijolos, V_1, V_2 e V_3, respectivamente, conforme Figura 7.

Tabela 4. Valores da velocidade da onda ultra-sônica na menor distância dos tijolos, V_1 ($m.s^{-1}$).

Velocidade V1 (m/s)		Tratamentos - solo-cimento-residuos vegetais								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
	Média	1766,67	813,33	395,00	296,67	260,00	803,33	460,00	296,67	120,00
7 dias	DPM2	305,24	10,27	41,43	9,43	8,16	37,71	21,60	40,28	0,00
	CV (%)3	17,28	1,26	10,49	3,18	3,14	4,69	4,70	13,58	0,00
	Média	1340,00	830,00	701,67	336,67	225,00	795,00	445,00	210,00	161,67
28 dias	DPM	47,08	73,82	20,95	27,79	20,41	42,43	74,83	18,71	10,27
	CV (%)	3,51	8,89	2,99	8,25	9,07	5,34	16,82	8,91	6,36
	Média	1531,67	1238,33	951,67	688,33	511,67	983,33	730,00	420,00	236,67
56 dias	DPM	39,23	27,18	37,04	10,27	8,50	23,21	17,80	49,67	20,55
	CV (%)	2,56	2,20	3,89	1,49	1,66	2,36	2,44	11,83	8,68
	Média	1536,67	1160,00	793,33	576,67	430,00	1016,67	630,00	506,67	311,67
91 dias	DPM	37,93	42,62	14,34	8,50	12,25	16,50	74,50	24,94	72,61
	CV (%)	2,47	3,67	1,81	1,47	2,85	1,62	11,83	4,92	23,30
	Média	1586,67	1140,00	996,67	586,67	500,00	1106,67	750,00	583,33	276,67
182 dias	DPM	20,55	24,49	28,67	18,86	32,66	24,94	50,99	20,55	51,85
	CV (%)	1,30	2,15	2,88	3,21	6,53	2,25	6,80	3,52	18,74

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); [2]DPM – desvio padrão médio; [3]CV (%) – coeficiente de variação.

Tabela 5. Valores da velocidade da onda ultra-sônica na distância média do tijolo, V_2 ($m.s^{-1}$).

Velocidade V2 (m/s)		Tratamentos - solo-cimento-residuos vegetais								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
	Média	1650,00	1206,67	883,33	653,33	576,67	1170,00	746,67	550,00	260,00
7 dias	DPM	21,60	47,14	24,94	53,12	12,47	77,89	12,47	16,33	0,00
	CV (%)	1,31	3,91	2,82	8,13	2,16	6,66	1,67	2,97	0,00
	Média	1466,67	1133,33	986,67	730,00	575,00	1200,00	653,33	330,00	210,00
28 dias	DPM	33,99	63,42	24,94	37,42	20,41	50,99	61,28	77,89	8,16
	CV (%)	2,32	5,60	2,53	5,13	3,55	4,25	9,38	23,60	3,89
	Média	1743,33	1533,33	1240,00	946,67	726,67	1340,00	1030,00	680,00	443,33
56 dias	DPM	40,28	26,25	21,60	26,25	24,94	21,60	40,82	29,44	98,77
	CV (%)	2,31	1,71	1,74	2,77	3,43	1,61	3,96	4,33	22,28
	Média	1633,33	1320,00	1030,00	816,67	676,67	1196,67	786,67	710,00	376,67
91 dias	DPM	33,00	21,60	8,16	47,84	23,57	63,42	37,71	70,71	53,12
	CV (%)	2,02	1,64	0,79	5,86	3,48	5,30	4,79	9,96	14,10
	Média	1830,00	1400,00	1186,67	886,67	740,00	1353,33	990,00	693,33	525,00
182 dias	DPM	64,81	16,33	52,49	17,00	50,99	73,64	40,82	53,12	12,25
	CV (%)	3,54	1,17	4,42	1,92	6,89	5,44	4,12	7,66	2,33

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); [2]DPM – desvio padrão médio; [3]CV (%) – coeficiente de variação.

Tabela 6. Valores da velocidade da onda ultra-sônica no comprimento do tijolo, V_3 ($m.s^{-1}$).

Velocidade V3 (m/s)		Tratamentos - solo-cimento-residuos vegetais								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
	Média	1696,67	1313,33	973,33	460,00	340,00	1176,67	666,67	265,00	200,00
7 dias	DPM	49,22	20,55	33,00	8,16	0,00	55,58	73,18	12,25	0,00
	CV (%)	2,90	1,56	3,39	1,77	0,00	4,72	10,98	4,62	0,00
	Média	1496,67	1173,33	1106,67	823,33	516,67	1246,67	666,67	355,00	276,67
28 dias	DPM	28,67	47,14	12,47	40,28	12,47	102,09	132,75	18,71	20,55
	CV (%)	1,92	4,02	1,13	4,89	2,41	8,19	19,91	5,27	7,43
	Média	1783,33	1576,67	1303,33	1103,33	673,33	1410,00	1110,00	743,33	576,67
56 dias	DPM	17,00	17,00	20,55	17,00	77,17	29,44	48,99	30,91	24,94
	CV (%)	0,95	1,08	1,58	1,54	11,46	2,09	4,41	4,16	4,33
	Média	1730,00	1423,33	1116,67	830,00	723,33	1410,00	830,00	703,33	443,33
91 dias	DPM	29,44	23,57	12,47	57,15	41,90	85,24	8,16	41,10	38,59
	CV (%)	1,70	1,66	1,12	6,89	5,79	6,05	0,98	5,84	8,70
	Média	1880,00	1536,67	1283,33	963,33	716,67	1483,33	1186,67	846,67	556,67
182 dias	DPM	0,00	23,57	65,49	44,97	17,00	46,43	66,00	54,37	61,28
	CV (%)	0,00	1,53	5,10	4,67	2,37	3,13	5,56	6,42	11,01

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); [2]DPM – desvio padrão médio; [3]CV (%) – coeficiente de variação.

Houve um aumento gradativo da velocidade de propagação da onda ultra-sônica em função da idade devido ao processo de estabilização química dos tijolos, resultando em uma estrutura cristalina de melhor qualidade, conforme resultados obtidos por Ferreira e Freire (2004) e Milani (2005).

Sendo assim, nos tijolos mais homogêneos a velocidade ultra-sônica foi maior. Ao contrário dos tijolos mais heterogêneos, que por possuírem maior presença de espaços entre as partículas, retardaram a passagem das ondas ultra-sônicas, e assim apresentam menores velocidades. Portanto, quanto maior a compacidade do material, maior será a velocidade registrada.

A Tabela 7 apresenta os valores médios da massa específica aparente dos tijolos. Percebe-se que à medida que houve um incremento de resíduo vegetal, houve também uma diminuição da massa específica aparente dos tijolos.

Tabela 7. Valores médios da massa específica aparente dos tijolos ($Kg.cm^{-3}$).

Tratºs	Massa específica aparente ($Kg.cm^{-3}$)				
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	182 dias
T_1[1]	2810,0 ± 11,52 (0,41)[2]	2764,0 ± 28,12 (1,02)	2735,0 ± 22,45 (0,82)	2706,0 ± 19,22 (0,71)	2726,0 ± 19,20 (0,70)
T_2	2780,0 ± 3,74 (0,49)	2711,0 ± 40,53 (1,50)	2643,0 ± 21,23 (0,80)	2576,0 ± 13,22 (0,51)	2628,0 ± 26,64 (1,01)
T_3	2732,0 ± 41,90 (1,53)	2668,0 ± 15,58 (0,58)	2600,0 ± 9,40 (0,36)	2533,0 ± 3,07 (0,52)	2582,0 ± 17,15 (0,66)
T_4	2745,0 ± 26,61 (0,97)	2743,0 ± 15,86 (0,51)	2643,0 ± 16,68 (0,63)	2543,0 ± 42,71 (1,68)	2559,0 ± 23,67 (0,92)
T_5	2734,0 ± 47,26 (1,73)	2702,0 ± 29,80 (1,10)	2567,0 ± 16,05 (0,63)	2432,0 ± 10,42 (0,43)	2451,0 ± 14,90 (0,61)
T_6	2859,0 ± 41,35 (1,45)	2667,0 ± 34,77 (1,30)	2636,0 ± 17,96 (0,68)	2604,0 ± 2,05 (0,08)	2678,0 ± 10,84 (0,40)
T_7	2745,0 ± 33,32 (1,21)	2721,0 ± 4,97 (0,18)	2624,0 ± 2,72 (0,10)	2526,0 ± 0,94 (0,04)	2559,0 ± 13,72 (0,54)
T_8	2675,0 ± 30,07 (1,12)	2689,0 ± 31,54 (1,20)	2549,0 ± 10,12 (0,40)	2460,0 ± 23,61 (0,96)	2499,0 ± 20,61 (0,82)
T_9	2622,0 ± 24,10 (0,92)	2605,0 ± 28,58 (1,10)	2408,0 ± 70,90 (2,94)	2307,0 ± 22,54 (0,98)	2454,0 ± 16,52 (0,67)

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); [2] Valores médios ± desvio padrão (coeficiente de variação, em %).

A Tabela 8 apresenta os valores médios de anisotropia total.

Tabela 8. Valores médios da anisotropia total (ΔM) dos tijolos, em %.

Trat^{o}s	Anisotropia total ΔM (%)				
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	182 dias
T_1[1]	11,93 ± 3,13 (26,26)[2]	9,57 ± 2,82 (29,49)	13,15 ± 1,29 (9,78)	8,61 ± 2,59 (30,07)	14,46 ± 0,48 (3,34)
T_2	35,41 ± 1,90 (5,85)	28,09 ± 4,70 (16,74)	20,37 ± 0,66 (3,24)	15,38 ± 3,97 (25,83)	22,36 ± 1,51 (6,74)
T_3	57,55 ± 3,17 (5,52)	32,92 ± 2,85 (8,66)	25,18 ± 2,47 (9,82)	26,08 ± 1,30 (4,97)	19,27 ± 1,10 (5,70)
T_4	46,63 ± 1,69 (3,63)	56,44 ± 5,42 (9,61)	32,82 ± 1,95 (5,95)	29,94 ± 1,70 (5,67)	36,51 ± 3,08 (8,44)
T_5	43,28 ± 1,40 (3,24)	58,83 ± 2,94 (5,00)	26,76 ± 3,42 (12,77)	38,52 ± 2,35 (6,10)	31,33 ± 3,79 (12,10)
T_6	31,49 ± 1,31 (4,22)	34,93 ± 2,48 (7,09)	28,45 ± 2,34 (8,22)	21,85 ± 2,82 (12,91)	21,98 ± 1,22 (5,54)
T_7	34,79 ± 3,48 (10,02)	37,01 ± 4,80 (12,97)	31,65 ± 3,39 (10,72)	17,69 ± 3,58 (20,26)	31,03 ± 4,96 (15,98)
T_8	27,35 ± 8,70 (31,8)	38,10 ± 6,03 (15,82)	44,22 ± 2,33 (5,26)	28,12 ± 3,17 (11,27)	24,19 ± 1,01 (4,19)
T_9	47,83 ± 0,00 (0,00)	33,48 ± 4,61 (13,79)	53,13 ± 5,42 (10,20)	15,32 ± 4,94 (32,22)	48,90 ± 8,35 (17,07)

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – solo + 10% de adições (40% de casca de braquiária + 60% de cimento); [2] Valores médios ± desvio padrão (coeficiente de variação, em %).

Observa-se na Tabela 8, que no geral, os tratamentos com maiores teores de resíduos foram menos anisotrópicos que os tratamentos com menores substituições de cimento por resíduos vegetais. Segundo Ferreira e Freire (2004), a variação dos resultados pode ser explicada pela maior presença de espaços vazios nos tijolos que interferiram na propagação da onda ultra-sônica.

A Tabela 9 apresenta os valores médios de resistência anisotrópica dos tijolos, que é obtida através da combinação dos resultados da resistência à compressão simples (conforme resultados obtidos pelo bolsista Júlio César da Cunha Gobo) e da anisotropia total.

Tabela 9. Resistência anisotrópica (MPa/%), aos 7, 28, 56, 91 e 182 dias, de tijolos confeccionados com diferentes tratamentos de solo

Trat^{o}s	Resistência anisotrópica (MPa/%)				
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	182 dias
T_1[1]	0,27 ± 0,05 (20,82) a C[2]	0,35 ± 0,09 (24,85) a B	0,37 ± 0,06 (16,19) a B	0,49 ± 0,14 (29,30) a A	0,34 ± 0,03 (7,38) a B
T_2	0,05 ± 0,00 (5,76) b B	0,08 ± 0,01 (13,13) b AB	0,14 ± 0,01 (4,94) b A	0,14 ± 0,04 (21,42) b A	0,12 ± 0,01 (9,80) b AB
T_3	0,02 ± 0,00 (7,85) b B	0,05 ± 0,00 (8,79) b AB	0,09 ± 0,01 (6,69) bc AB	0,07 ± 0,00 (7,26) bc AB	0,12 ± 0,01 (5,63) b A
T_4	0,02 ± 0,00 (9,82) b A	0,02 ± 0,00 (6,86) b A	0,04 ± 0,01 (12,44) c A	0,05 ± 0,00 (7,83) c A	0,05 ± 0,00 (9,45) c A
T_5	0,02 ± 0,00 (1,30) b A	0,02 ± 0,00 (4,90) b A	0,04 ± 0,00 (8,20) c A	0,03 ± 0,00 (3,26) c A	0,05 ± 0,01 (14,38) c A
T_6	0,05 ± 0,00 (8,35) b B	0,06 ± 0,00 (7,13) b B	0,09 ± 0,02 (17,60) bc AB	0,11 ± 0,01 (7,77) bc AB	0,14 ± 0,00 (2,65) b A
T_7	0,03 ± 0,00 (5,77) b A	0,03 ± 0,00 (14,77) b A	0,05 ± 0,00 (7,24) c A	0,08 ± 0,02 (19,51) bc A	0,06 ± 0,01 (17,36) c A
T_8	0,03 ± 0,01 (32,26) b A	0,02 ± 0,00 (17,04) b A	0,02 ± 0,00 (14,93) c A	0,04 ± 0,00 (6,11) c A	0,05 ± 0,01 (9,36) c A
T_9	0,01 ± 0,00 (5,44) b A	0,02 ± 0,00 (4,88) b A	0,02 ± 0,00 (17,58) c A	0,07 ± 0,02 (29,52) bc A	0,01 ± 0,00 (24,44) c A

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – 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.

Os valores da resistência anisotrópica tenderam a diminuir com o aumento da idade. Tal efeito leva a crer que o processo de cura favoreceu ao aumento da anisotropia total decorrente do incremento das diferenças entre os valores de velocidades da onda ultra-sônica nas três direções dos tijolos, conforme resultados obtidos por Ferreira e Freire (2004).

Com o decorrer das idades o processo de estabilização química pela adição de cimento (cristalização por polimeração e conseqüente preenchimento dos espaços vazios) provocou uma maior variação nos valores de velocidade registrados nos diferentes eixos de leitura.

Maiores valores de R_A indicam uma baixa anisotropia, geralmente associada à menor presença de espaços vazios e uma maior resistência mecânica. Enquanto baixos valores da resistência anisotrópica indicam uma

alta anisotropia associada a uma menor resistência mecânica e uma maior presença de espaços vazios. Provocando, consequentemente, uma diminuição na qualidade dos tijolos.

As adições que proporcionaram a maior e a menor resistência anisotrópica foram: o tratamento 1 (0% de resíduo + 100% de cimento) e o tratamento 9 (40% de casca de brachiaria + 60% de cimento), respectivamente.

As figuras 11 e 12 ilustram o comportamento da resistência anisotrópica dos tijolos em função do período de cura, respectivamente para os tratamentos com casca de arroz e casca de braquiária, em comparação com a testemunha.

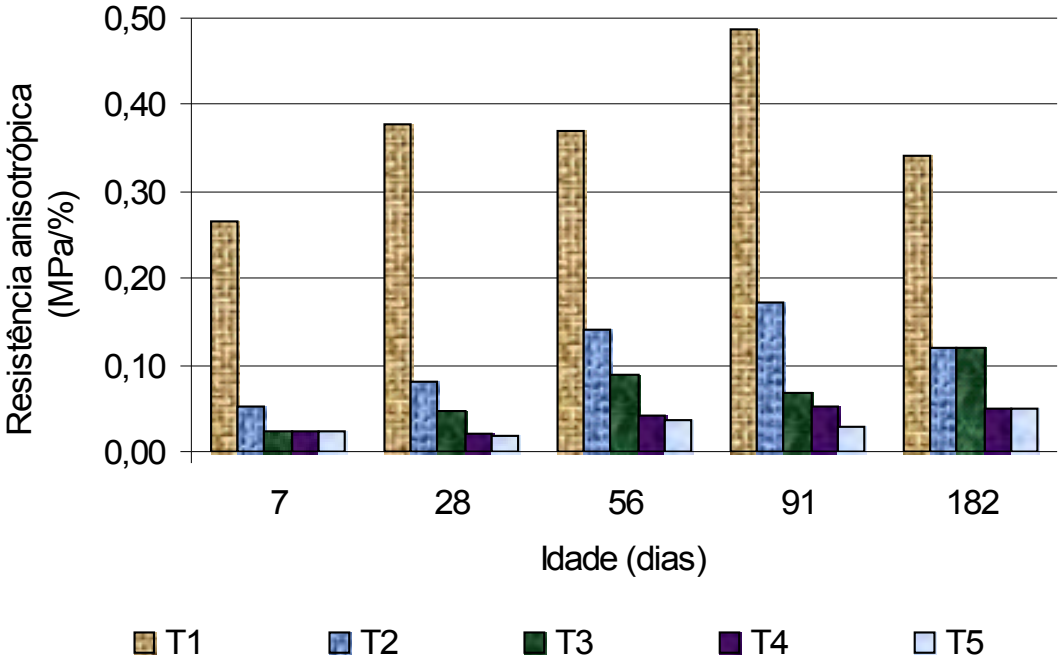

Figura 11. Comportamento da resistência anisotrópica dos tijolos com casca de arroz, comparando com o da testemunha (T_1), nos cinco períodos de cura avaliados.

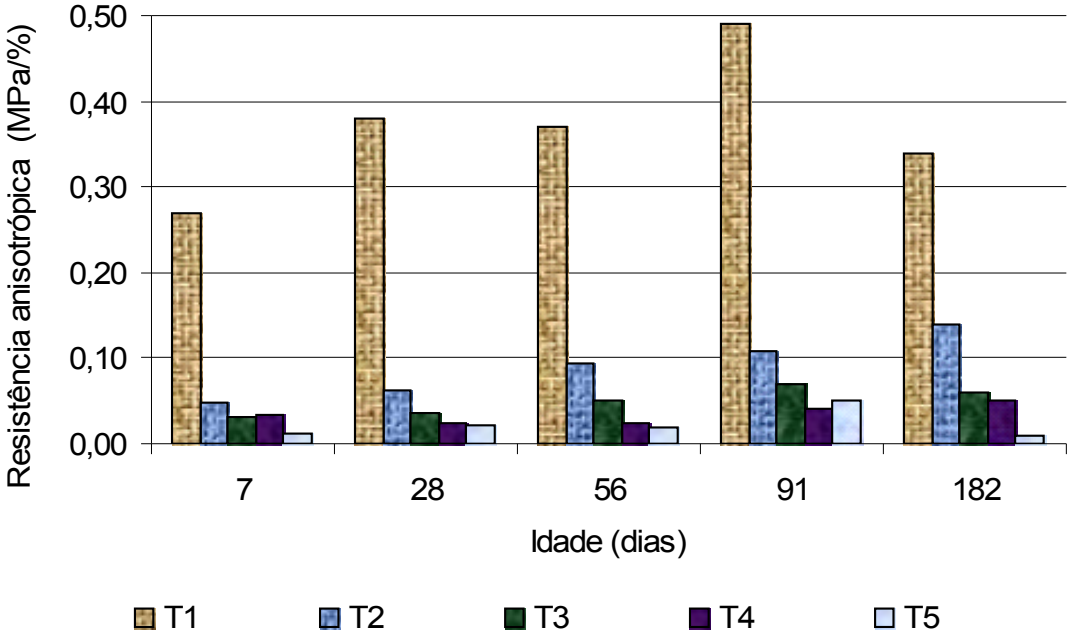

Figura 12. Comportamento da resistência anisotrópica dos tijolos com casca de braquiária, comparando com o da testemunha (T_1), nos cinco períodos de cura avaliados.

Como se pode observar nas Figuras 11 e 12, o tratamento 1 possui maior resistência anisotrópica em todas as idades. Esta se eleva com o aumento das idades de cura. À medida que houve um incremento de resíduo vegetal, houve também uma diminuição da resistência anisotrópica dos tijolos.

A resistência anisotrópica alcançada com os tratamentos compostos de casca de arroz foi superior à alcançada pelos tratamentos compostos de casca de braquiária, como demonstrado nas Figuras 11 e 12.

A Tabela 10 e a Figura 13 apresentam os valores médios do módulo de elasticidade dinâmico dos tijolos.

Tabela 10. Valores médios do módulo de elasticidade dimânico, Ed, (MPa) dos tijolos.

Trat^{o}s	Módulo de elasticidade dinamico (MPa)				
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	182 dias
T_1[1]	6131,42 ± 433,76 (7,07) a B[2]	4972,34 ± 383,84 (7,72) a C	6423,07 ± 365,04 (5,68) a B	6396,67 ± 357,59 (5,59) a B	6865,12 ± 225,28 (3,28) a A
T_2	1839,37 ± 49,84 (2,71) b C	1885,19 ± 344,24 (18,26) b C	4056,37 ± 207,77 (5,12) b A	3469,89 ± 244,40 (7,04) b B	3418,82 ± 181,19 (5,30) b B
T_3	429,64 ± 81,77 (19,03) c C	1314,83 ± 83,59 (6,36) c B	2357,94 ± 174,84 (7,42) c A	1594,23 ± 49,34 (3,10) d B	2567,49 ± 156,76 (6,11) c A
T_4	241,95 ± 17,90 (7,40) cd C	313,06 ± 52,68 (16,83) de C	1252,76 ± 40,38 (3,22) d A	845,65 ± 17,61 (2,08) e B	881,41 ± 50,83 (5,77) e AB
T_5	184,86 ± 10,15 (5,49) d B	137,68 ± 23,50 (17,07) de B	672,35 ± 24,84 (3,70) e A	449,97 ± 24,30 (5,40) f A	615,76 ± 82,93 (13,47) e A
T_6	1850,52 ± 188,09 (10,16) b C	1692,40 ± 203,40 (12,02) b C	2550,54 ± 134,33 (5,27) c B	2692,56 ± 86,58 (3,22) c B	3281,60 ± 161,46 (4,92) b A
T_7	581,55 ± 47,15 (8,11) c B	464,36 ± 75,07 (16,17) d B	1398,96 ± 68,22 (4,88) d A	1118,88 ± 85,19 (7,61) e A	1447,22 ± 206,46 (14,27) d A
T_8	240,47 ± 63,17 (26,27) cd B	117,07 ± 19,11 (16,32) de B	402,00 ± 36,44 (9,06) ef B	633,56 ± 69,07 (10,90) f A	851,30 ± 58,64 (6,89) e A
T_9	37,76 ± 0,85 (0,92) d A	68,40 ± 8,98 (13,13) e A	136,35 ± 25,68 (18,83) f A	276,92 ± 40,43 (14,60) f A	193,96 ± 73,42 (37,86) f A

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – 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.

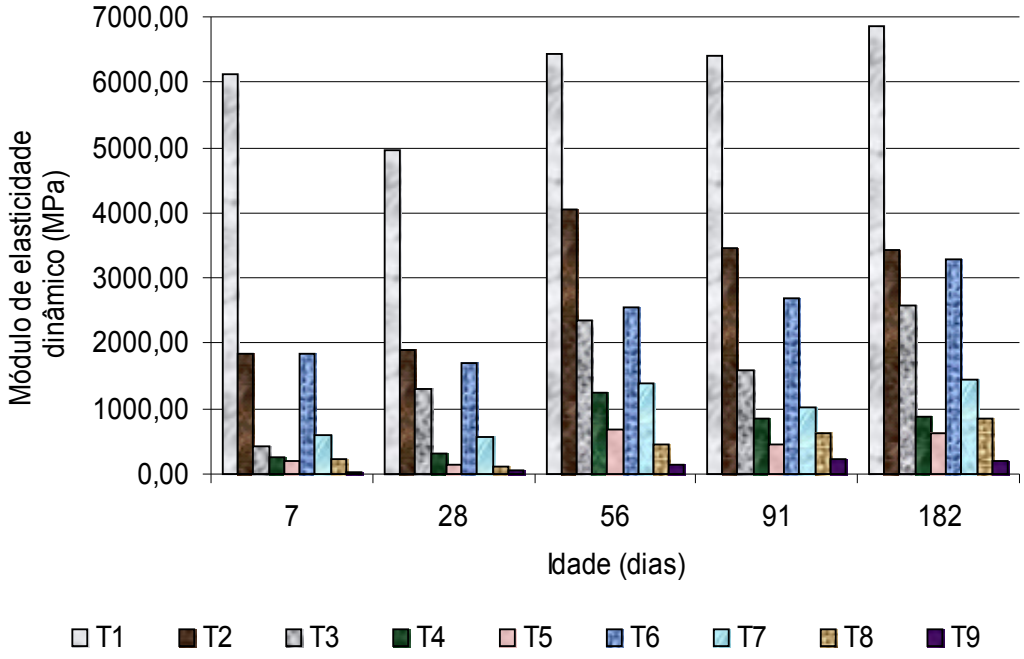

Figura 13. Módulo de elasticidade dinâmico dos tijolos em função da idade de cura.

Os valores médios do módulo de elasticidade dinâmico tenderam a aumentar com o período de cura (Tabela 10). O maior valor foi de 6423,07 MPa observado aos 56 dias para o solo com teor de cimento de 10%.

De acordo com Calame, *apud* BUYLE-BODIN *et al*. (1990), o adobe tradicional pode apresentar módulo de Young entre 200 MPa e 300 MPa. Sendo assim, o tratamento 5 nas idades de 7 e 28 dias e o tratamento 9 nas idades de 7, 28 e 56 dias não são recomendados devido ao seu baixo módulo de elasticidade dinâmico encontrado.

O módulo de elasticidade dinâmico depende fortemente da velocidade de propagação da onda ultra-sônica, pois varia com o seu quadrado. Sendo assim, seus valores variaram de acordo com os resultados obtidos durante o acompanhamento da velocidade (Tabela 4, 5 e 6), 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 (Figura 13).

A Tabela 11 apresenta os resultados do modulo de elasticidade registrado durante o ensaio de compressão simples por meio de um relógio comparador digital da marca MITUTOYO acoplado à prensa hidráulica.

TABELA 11. Valores médios do módulo de elasticidade, E, (MPa) dos tijolos.

Trat^{o}s	Módulo de elasticidade (MPa)				
	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	182 dias
T_1[1]	3497,97 ± 205,80 (5,88) a C	2303,70 ± 263,21 (11,43) a D	4524,03 ± 647,24 (14,31) a B	3694,23 ± 561,10 (15,19) a C	4956,32 ± 90,68 (1,83) a A
T_2	1059,37 ± 20,18 (1,90) b C	633,20 ± 6,21 (0,98) b D	2045,20 ± 62,67 (3,06) b A	1675,93 ± 124,89 (7,45) b B	1373,56 ± 41,76 (3,04) b BC
T_3	395,20 ± 60,71 (15,36) c B	311,93 ± 37,19 (11,92) c B	961,83 ± 21,75 (2,26) c A	734,60 ± 81,19 (11,05) d AB	761,44 ± 62,31 (8,18) c AB
T_4	244,67 ± 5,18 (2,12) c A	215,07 ± 12,91 (6,00) c A	321,53 ± 41,89 (13,03) d A	369,37 ± 42,21 (11,43) de A	246,56 ± 6,09 (2,47) d A
T_5	325,57 ± 4,16 (1,28) c A	222,20 ± 0,00 (0,00) c A	214,60 ± 12,18 (5,68) d A	264,57 ± 21,43 (8,10) e A	223,26 ± 10,95 (4,90) d A
T_6	1308,40 ± 91,57 (7,00) b A	911,63 ± 36,11 (3,96) b B	1148,20 ± 12,70 (1,11) c AB	1185,50 ± 4,60 (0,39) c AB	1463,84 ± 28,50 (1,95) b A
T_7	542,30 ± 26,83 (4,95) c A	301,40 ± 11,76 (3,90) c A	521,20 ± 17,57 (13,37) d A	425,53 ± 42,95 (10,09) de A	586,19 ± 0,56 (0,10) c A
T_8	351,87 ± 20,05 (5,70) c A	203,37 ± 4,74 (2,33) c A	251,40 ± 12,92 (5,14) d A	287,00 ± 45,26 (15,77) e A	218,45 ± 1,27 (0,58) d A
T_9	273,67 ± 2,98 (1,09) c A	159,37 ± 0,53 (0,53) c A	244,70 ± 53,25 (21,76) d A	197,83 ± 29,82 (15,12) e A	99,11 ± 3,98 (4,02) d A

[1] T_1 – solo + 10% de adições (0% de resíduo + 100% de cimento); T_2 – solo + 10% de adições (10% de casca de arroz + 90% de cimento); T_3 – solo + 10% de adições (20% de casca de arroz + 80% de cimento); T_4 – solo + 10% de adições (30% de casca de arroz + 70% de cimento); T_5 – solo + 10% de adições (40% de casca de arroz + 60% de cimento); T_6 – solo + 10% de adições (10% de casca de braquiária +90% de cimento); T_7 – solo + 10% de adições (20% de casca de braquiária + 80% de cimento); T_8 – solo + 10% de adições (30% de casca de braquiária + 70% de cimento); e T_9 – 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 resultados obtidos na Tabela 11, notou-se um aumento significativo dos tratamentos com o aumento do período de cura. O maior valor de E foi de 4956,32 MPa, observado aos 182 dias para o solo com teor de cimento de 10% (T_1) e o menor valor foi de 99,31 MPa, observado aos 182 dias para o T_9.

De modo geral os valores do módulo de elasticidade dinâmico (Ed), obtido de forma não destrutiva (Tabela 10), foram maiores que os valores do módulo de elasticidade (E), obtido de forma destrutiva (Tabela 11).

Na Tabela 12 são apresentadas às equações de regressão para os valores de resistência à compressão simples em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica para os diferentes tijolos de solo-cimento-residuos vegetais.

Tabela 12. Equações de regressão para os valores de resistência à compressão simples (R, em MPa) em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica (V, $m.s^{-1}$) para os diferentes tijolos de solo-cimento-residuos vegetais avaliados.

Tratamentos	Equações	R^2
T_1	$R = -3E\text{-}05V^2 + 0{,}103V - 75{,}492$	0,7735
T_2	$R = 0{,}0018V + 0{,}5411$	0,8233
T_3	$R = 4E\text{-}06V^2 - 0{,}0034V + 2{,}0941$	0,9979
T_4	$R = -1E\text{-}05V^2 + 0{,}0114V - 1{,}3886$	0,9110
T_5	$R = 0{,}0011V + 0{,}7508$	0,2737
T_6	$R = 0{,}0034V - 0{,}8948$	0,7458
T_7	$R = 8E\text{-}06V^2 - 0{,}0076V + 2{,}9191$	0,9723
T_8	$R = 6E\text{-}06V^2 - 0{,}0035V + 1{,}3675$	0,9631
T_9	$R = 0{,}0016V + 0{,}4453$	0,4669

Observa-se na Tabela 12, que no geral, houve correlações positivas entre a resistência à compressão simples e a velocidade da onda ultra-sônica para a maioria dos tratamentos, exceto para os tratamentos T_1 e T_4, que obtiveram correlações polinomiais negativas.

Com exceção aos tratamentos com substituição de 40% a porcentagem de cimento, os resultados demonstraram uma boa correlação entre essas duas variáveis, para todos os teores de cimento e resíduos vegetais. Estes fatos indicaram que não houve dispersão dos valores para a maioria dos tratamentos, ou seja, houve uma boa uniformidade durante a execução dos ensaios de resistência e de ultra-som, resultados parecidos foram obtidos por Ferreira e Freire (2004) e Milani (2005).

As maiores correlações obtidas foram dos tratamentos T_3 (R^2 = 0,9979) e T_7 (R^2 = 0,9723), ambos com substituição de 20% de resíduos vegetais. As

menores correlações foram observados nos tratamentos T_5 (R^2 = 0,2737) e T_9 (R^2 = 0,4669), ambos com substituição de 40% de resíduos vegetais a porcentagem de 10% de cimento (Tabela 12 e Figuras 14 e 15).

As Figuras 14 e 15 ilustram as representações gráficas de regressão para a resistência à compressão simples em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica para os tijolos de solo-cimento-casca de arroz e solo-cimento-casca de braquiária.

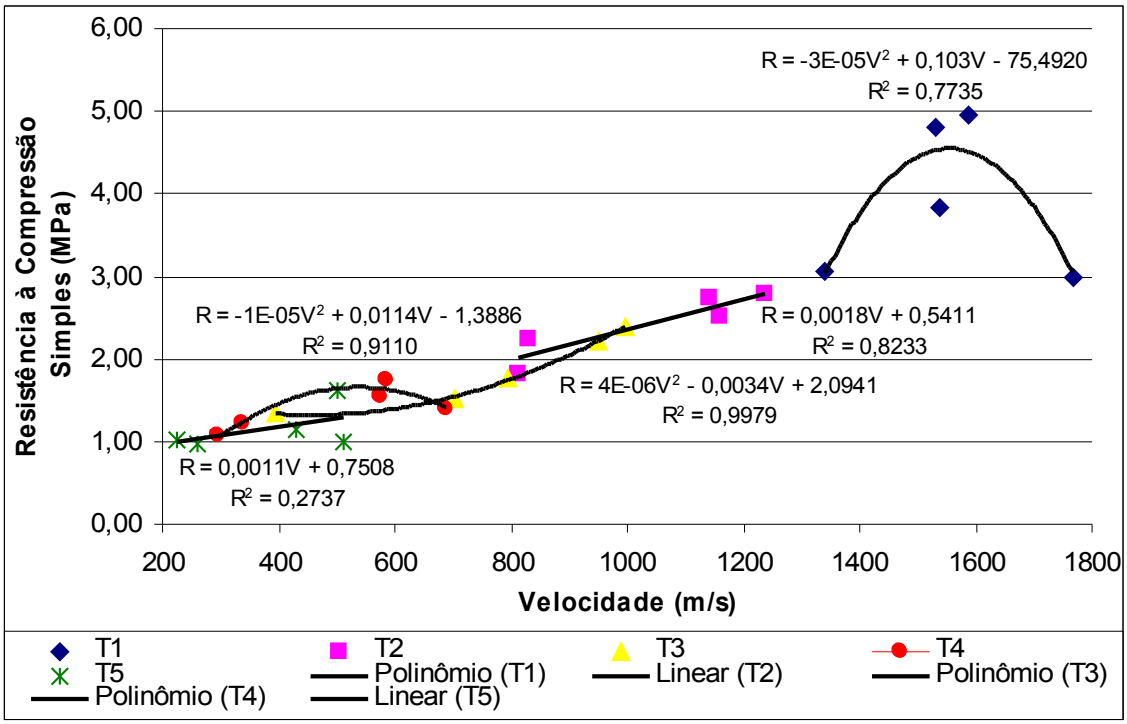

Figura 14. Resistência à compressão simples em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica dos tijolos de solo-cimento-casca de arroz, comparando-se com o tratamento (T_1).

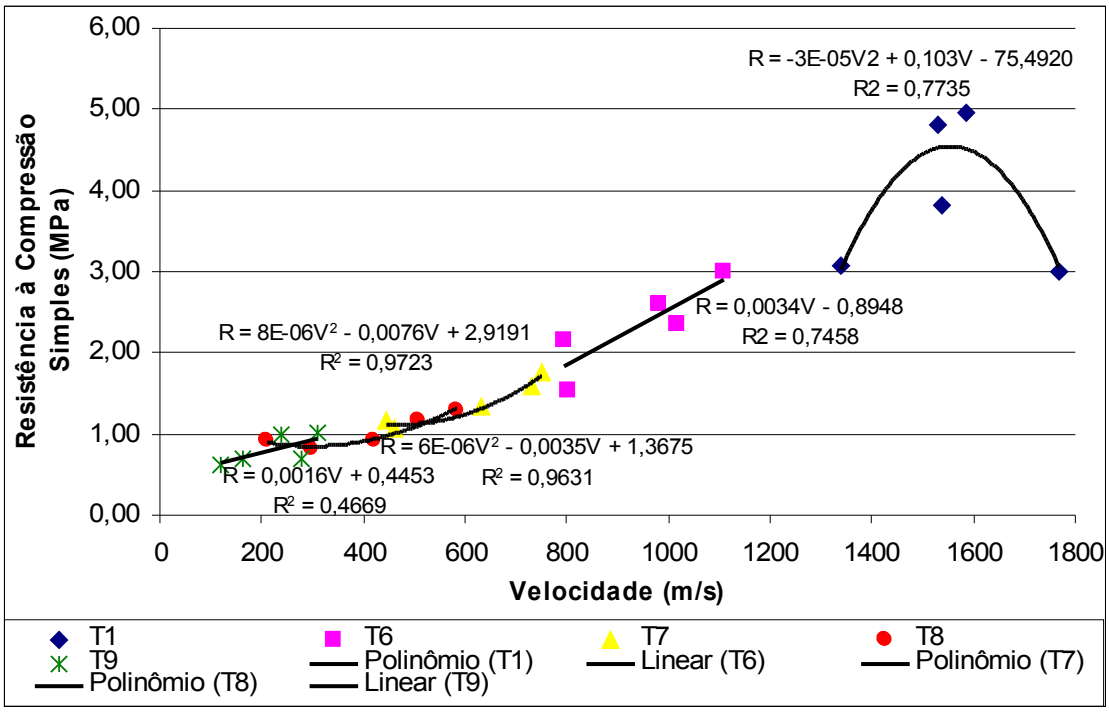

Figura 15. Resistência à compressão simples em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica dos tijolos de solo-cimento-casca de braquiária, comparando-se com o tratamento (T_1).

CONCLUSÃO / COMENTÁRIOS FINAIS

- Ocorreu um aumento gradativo de propagação da onda ultra-sônica em função da idade de cura;
- A maior presença de espaços vazios nos tijolos interferiu na propagação da onda ultra-sônica, originando diferenças entre as velocidades nas três direções dos tijolos;
- Com o incremento de resíduos vegetais, houve a diminuição da massa específica aparente e da resistência anisotrópica dos tijolos;
- A resistência anisotrópica obtida com os tratamentos compostos de casca de arroz foi superior à obtida pelos demais tratamentos;
- Os valores médios do módulo de elasticidade dinâmico tenderam a aumentar com o período de cura;
- O módulo de elasticidade dinâmico depende da velocidade de propagação da onda ultra-sônica, e assim, variaram de acordo com o comportamento dos valores da velocidade de propagação da onda ultra-sônica;
- Os resultados das equações de regressão sugerem uma forte dependência entre as variáveis resistência à compressão simples e velocidade da onda ultra-sônica do pulso ultra-sônico.

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.

ALMEIDA, D.F. Patologia, terapia e profilaxia nas edificações de concreto. Parte 4: ensaio de caracterização. In: **Qualidade na Construção**. n. 17, p. 39-43, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais.** São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, Boletim Técnico 111, 1985. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 07181**. Solo: Análise Granulonometrica. Rio de Janeiro, 1984a. 8p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 08491**. Tijolo Maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984b. 8p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 08492**. Tijolo Maciço de solo-cimento. Determinação da Resistência à Compressão e Absorção de Água. Rio de Janeiro, 1984c. 8p.

_____**.** Rio de Janeiro. **NBR 10832** - Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989. 3 p.

_____. Rio de Janeiro. **NBR 11578**. Cimento Portland CPII-E-32. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ALVES, J. D. **Materiais de construção**. 7ª Ed. Goiânia: Editora UFG. 1999. 298p.

BERALDO, A.L.; TOJAL, J.H.V. Utilização de argamassas de cimento e casca de arroz em moradias populares. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30, 2001, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...**, Jaboticabal: SBEA, 2001. Cd Rom.

BOTELHO, M. H. C. **Resistência dos materiais para entender e gostar**. São Paulo: Studio Nobel, 1998. 301p.

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.

FERREIRA, R.C. Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos. Campinas: FEAGRI, UNICAMP, 2003. **Tese (Doutorado)** – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 204p.

FERREIRA, R.C.; FREIRE, W.J. Eficiência da estabilização do solo e qualidade de tijolos prensados de terra crua tratada com aditivos químicos, avaliadas pela combinação de testes destrutivos e não-destrutivos **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.1-15, 2004.

FERREIRA, R. de C.; FREIRE, W. J. Combinação de testes destrutivos e não-destrutivos na avaliação do desempenho mecânico de solos estabilizados quimicamente destinados às construções rurais. In: VI Congresso Latino Americano e do Caribe de Engenharia Agrícola, 6, 2004, Costa Rica. **Proceedings ...** San Jose: ALIA, 2004. Cd Rom.

HAMASSAKI, L.T. Aspectos da aplicabilidade do ensaio do ultra-som em concreto. **Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil** – Escola Politécnica da USP, São Paulo, n. 17, 1987. 17p.

JAUBERTHIE, R.; RENDEL, F.; TAMBA, S., CISSÉ, I.K. Properties of cement-rice husk mixture. **Construction and Building Materials**, vol 17, p.239-243, 2003.

MILANI, A. P. da S. Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz. **Dissertação de Mestrado**, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 113p. 2005.

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.

PAPARGYRIS, A.D.; COOKE, R.G., PAPARGYRI, S.A.; BOTIS, A.I. The acoustic behavior of bricks in relation to their mechanical behavior. **Construction and Building Materials**, v.15, p. 361-369, 2001.

QASRAWI, H.Y. Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. **Cement and Concrete Research**, v.30, p.739-746. 2000.

ROSS, R. J.; BRASHWA, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, v. 48, n.1, p.14-19. 1998.

SHERWOOD, P.T. **Soil stabilization with cement and lime: state of the art review.** London: HMSO, 1993. 153p.

SILVA, A.P.; FREIRE, W. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, São Pedro, SP. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2004. Cd Rom.

Goiânia, 31 de agosto de 2006

Regis de Castro Ferreira — Ananda Helena Nunes Cunha

Assinatura do orientador — Assinatura do aluno

O trabalho QUALIDADE DE TIJOLOS PRENSADOS DE SOLO-CIMENTO-RESÍDUOS VEGETAIS “IN NATURA” AVALIADA PELA COMBINAÇÃO DE TESTES DESTRUTIVOS E NÃO-DESTRUTIVOS de tijolos de terra crua foi licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição 3.0 Não Adaptada.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo