

# Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada

*Structural performance for a masonry prototype built with blocks of stabilized raw earth*

Aluísio Braz Melo  
Normando Perazzo Barbosa  
Marçal Rosas Florentino Lima  
Elisângela Pereira Silva

## Resumo

Uma das dificuldades na difusão de tecnologias de construção não convencionais é a ausência de informações técnicas sobre os sistemas construtivos existentes. Exemplos de construção eco-eficiente, em pequena escala, feita com blocos de terra crua, desenvolvidos pelo Prof. Roberto Mattone, do Politécnico di Torino, Itália, podem ser encontrados no Brasil, Itália e Argentina. Estes blocos feitos com prensa manual apresentam intertravamentos entre si que melhoram a resistência e a rigidez da alvenaria. Testes em protótipos construídos com eles são necessários para atender as exigências técnicas e se obter credibilidade nas agências governamentais financiadoras. Este artigo apresenta resultados referentes a avaliação de desempenho estrutural de alvenaria (protótipo construído em escala real) feita com blocos de terra crua estabilizada, mecânicamente por prensagem e quimicamente por adição de cimento Portland. As avaliações de cargas de ocupação e impactos na alvenaria foram realizadas através de ensaios de impactos de corpo mole e de corpo duro, solicitações transmitidas por fechamentos bruscos de porta e solicitações de cargas provenientes de peças suspensas. A partir dos resultados pode-se afirmar que o protótipo apresentou desempenho satisfatório em relação à segurança estrutural. Destaca-se que os blocos avaliados tem grande potencial para reduzir o impacto ambiental das edificações.

**Palavras-chave:** Bloco. Terra crua. Alvenaria. Testes de impacto.

## Abstract

*One of the difficulties in the dissemination of non-conventional construction technologies is the lack of technical information about existing constructive systems. Examples of small-scale, eco-efficient construction made with blocks of raw earth, developed by Professor Roberto Mattone, from the Politecnico di Torino, Italy, can be found in Brazil, Italy and Argentina. These blocks are made with a manual press and have interlocks which improve the strength and stiffness of the masonry. Tests on prototypes built with these blocks are necessary in order to check compliance with technical requirements and obtain the credibility of government funding agencies. This paper presents results of an evaluation of the structural performance a real scale prototype built with blocks of stabilized raw earth, mechanically - by pressing, and chemically - through the addition of Portland cement. Evaluations of occupancy loads and impacts on masonry were made through soft body impact and hard body impact tests, which refers to efforts transmitted by sudden door closure and solicitações de carga from suspended parts. The results indicate that the performance of the prototype was satisfactory in terms of structural safety. It is important to highlight that the blocks tested in this study have great potential to reduce the environmental impact of buildings.*

**Keywords:** Blocks. Earth raw. Mansory. Impact tests.

**Aluísio Braz Melo**  
Departamento de Arquitetura, Centro de Tecnologia  
Universidade Federal da Paraíba  
Caixa-Postal 350  
João Pessoa - PB - Brasil  
CEP 58051-900  
Tel.: (83) 3216-7913  
E-mail: aluisiobrazmelo@hotmail.com

**Normando Perazzo Barbosa**  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia  
Universidade Federal da Paraíba  
Tel.: (83) 3216-7179  
E-mail: nperazzo@ct.ufpb.br

**Marçal Rosas Florentino Lima**  
Curso Arquitetura e Urbanismo  
Centro Universitário João Pessoa  
BR 230 - Km, Água Fria  
João Pessoa - PB - Brasil  
CEP 58053-000  
Tel.: (83) 3243-0873  
E-mail: marcal\_civil@yahoo.com.br

**Elisângela Pereira Silva**  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia  
Universidade Federal da Paraíba  
Tel.: (83) 3321-7310  
E-mail: elisangelapereira@yahoo.com.br

Recebido em 20/10/10  
Aceito em 13/05/11

## Introdução

O avanço tecnológico na sociedade moderna, no mundo cada vez mais urbano, tem sido acompanhado de um processo de crescente agressão ao meio ambiente, tendo em conta basicamente o descontrole na exploração de recursos naturais, a enorme geração de resíduos e a crescente emissão de gases poluentes na atmosfera. A atividade da construção civil tem contribuído muito nesse processo pelo grande consumo dos recursos naturais, cerca de 15% a 50%, e outras agressões ao meio ambiente decorrentes (JOHN, 2000).

Por outro lado, quase metade da população mundial (cerca de sete bilhões de pessoas) sobrevive em condições sub-humanas em habitações precárias, apesar do avanço tecnológico e da grande oferta de materiais industrializados no mercado. Esse cenário paradoxal, que se apresenta de forma mais destacada nas cidades, é fruto de uma enorme desigualdade de renda, que faz com que, mesmo com a produção em larga escala dos materiais industrializados e com a redução dos custos de produção, muitas pessoas não tenham renda para adquiri-los.

No campo da Engenharia, sabe-se que o consumo energético para a fabricação de materiais de construção industrializados é muito alto. A fabricação de cimento Portland exige temperaturas de 1.450 °C, e os tijolos cerâmicos, por volta de 900-1.000 °C. Assim, alternativas que contemplem também o uso de materiais naturais passa a ser uma necessidade real. Na construção civil, entre os materiais que podem ser um exemplo, destaca-se a terra. O fato é que, desde os primórdios da humanidade, com ela foram feitas construções das

mais diversas formas, de simples casas até grandes palácios.

Adobe é um bloco de terra crua, moldada em fôrmas e secas ao ambiente. Uma das maneiras mais baratas de construir com terra é usando o adobe, uma técnica milenar, usada pelos babilônios, egípcios, persas, e introduzida no Brasil pelos portugueses. Essa técnica foi praticamente abandonada pela população mais abastada com o surgimento dos materiais industrializados, ficando desde então relegada somente ao uso, de forma inadequada, pela população de baixa renda. A partir daí a tecnologia foi se perdendo e passou a ser associada à pobreza. Por isso, há que se incentivar a utilização de materiais locais não convencionais com técnicas adequadas para viabilizar, por exemplo, a construção de habitações com garantia de qualidade.

Sabe-se que o uso da terra crua com tecnologia adequada pode contribuir para melhorar a habitabilidade das residências para a população de baixa renda, tanto na zona rural quanto nas cidades (BARBOSA, 2005). Nesse contexto, o uso da terra crua para fabricar tijolos (estabilizada com prensagem e adição de cimento Portland) pode significar a transformação de realidades, a partir da incorporação ao processo de uma tecnologia de fácil transferência (Figura 1). Para isso, além de outros cuidados importantes, a utilização de solo adequado é fundamental para agregar valor ao pré-moldado a ser utilizado nas construções, podendo reduzir custos e induzir os arquitetos e engenheiros ao hábito de construir harmonizando projeto arquitetônico, materiais locais e sistema construtivo (SOUZA; PEREIRA; SILVA, 2006).



(a) Terra usada sem técnica apropriada



(b) Tijolos prensados de terra crua com adição de cimento, executados corretamente

Figura 1 - Construções com terra crua e realidades diferentes com incorporação de técnica de construção simples

Fonte: Barbosa (2005).

Não se deve pensar, de maneira nenhuma, em descartar os materiais de construção industrializados. Muitos dos materiais industrializados e não convencionais podem perfeitamente ser aliados. No exemplo da Figura 2, na construção de uma Igreja em Lyon, na França, foi utilizada a terra crua nas paredes, mas há também estrutura em concreto armado, telhas cerâmicas, vidros, etc. Então, tem-se um material não convencional como a terra aliando-se aos materiais industrializados.

As vantagens da utilização dos tijolos ou blocos de terra crua compactada e adicionada a pequenas quantidades de cimento Portland vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras. Em geral, os equipamentos utilizados na produção desses componentes são simples e de baixo custo, possibilitando, inclusive, que a produção ocorra no próprio canteiro. Outra vantagem é que a técnica de produção e aplicação dos componentes é de fácil transferência, não necessitando mão de obra qualificada, inclusive quando se utilizam blocos com intertravamentos entre si.

O sistema construtivo com tijolos ou blocos intertravados melhora a resistência e rigidez da alvenaria e, por ser um sistema modular, possibilita, ainda, a redução dos resíduos nas obras e o controle da amarração das unidades durante a elevação da alvenaria. Desse modo, o sistema construtivo considerado inovador com uso dos referidos pré-moldados está de acordo com as diretrizes do desenvolvimento sustentável, pois, para além de outros aspectos, destacam-se os seguintes:

- (a) baixo consumo de energia requerido na extração da matéria-prima e pela dispensa do processo de queima;
- (b) redução da necessidade de transporte do produto; e
- (c) redução de resíduos na obra.

Entretanto, para qualquer sistema construtivo, testes de avaliação em protótipos são necessários. Dessa forma, este artigo apresenta resultados de um estudo sobre a avaliação de desempenho estrutural de alvenaria feita com blocos de terra crua estabilizada com prensagem e adição de cimento Portland em um protótipo construído em escala real.

### Tijolos prensados de terra crua

Blocos prensados de terra crua são pré-moldados obtidos pela compactação de material em um compartimento de uma máquina, manual ou mecânica, que lhes dá a forma. O uso da terra na forma prensada para fabricação de tijolos data da década de 1950. Desde então, uma grande diversidade de prensas tem surgido, sendo algumas capazes de fabricar tijolos de terra crua em escala industrial (SILVA, 2003).

No Brasil a Associação Brasileira de Cimento Portland realizou muitos trabalhos com o que se chamou de tijolos de solo-cimento. Inclusive foi desenvolvida uma prensa para fabricação de tijolos de solo-cimento com o apoio do antigo Banco Nacional de Habitação. O equipamento utilizado moldava três tijolos ao mesmo tempo (cada um com 9,5 cm de largura), conforme visto na Figura 3.



Figura 2 - Construção associando materiais não convencionais e industrializados  
Fonte: Barbosa (2005).

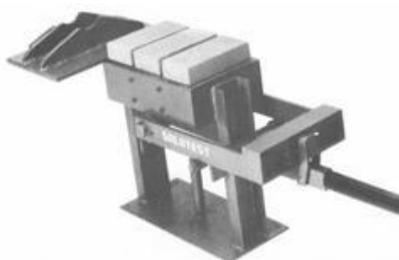


Figura 3 - Prensa manual que produz três tijolos ao mesmo tempo

Estudos aprofundados sobre o tema foram desenvolvidos na Ecole Nationale de Travaux Publics de l'Etat (ENTPE), na França, a partir dos anos 1980 (OLIVIER, 1994). A UFPB teve cooperação com aquela instituição e também com o Politécnico di Torino, onde foi desenvolvido o molde do bloco usado neste trabalho (BARBOSA; SOUZA; MATTONE, 1996; BARBOSA; MATTONE, 2002).

A seguir, alguns estudos com o material terra crua realizados por pesquisadores brasileiros de diversas instituições.

Souza (1993) estudou o uso de fibras vegetais na confecção de tijolos com terra crua, pelo qual foi possível observar um elevado grau de resistência a fissuração e à propagação de fissuras.

Rolim e Freire (1996) estudaram a utilização de vinhaça (resíduo produzido no processo de obtenção do álcool de cana-de-açúcar) em substituição ao cimento Portland na dosagem para a fabricação de tijolos de terra crua prensados. Dois tipos de solos de classes texturais diferentes foram avaliados: um arenoso e outro argiloso. A influência da variação do teor de vinhaça (12%, 16% e 20%) foi verificada. A maior resistência a compressão ocorreu aos 7 dias para o teor de 12% de vinhaça, sendo 1,9 MPa quando combinado com o solo arenoso e 1,7 MPa quando combinado com o solo argiloso.

Neves, Carneiro e Costa (2000) verificaram a substituição parcial de dois tipos de solos (laterítico e saprolítico) por agregado reciclado da construção civil nas proporções 25%, 50%, 75% e 85% em massa na fabricação de tijolos com terra crua. O teor de cimento Portland adotado para todas as amostras foi de 12% em massa. Para os tijolos com solo saprolítico, a resistência a compressão e a absorção de água foram sempre inferiores a 2,0 MPa e 20% respectivamente. Para o solo laterítico, os tijolos atenderam ao limite mínimo de resistência a compressão (2,0 MPa), e com teores acima de 50% de agregado reciclado da construção civil atenderam ao limite máximo de absorção de água (20%).

Dallacort, Lima Júnior e Willrich (2002) estudaram a substituição parcial de cimento por resíduos de tijolos cerâmicos moídos (material potencialmente pozolânico) no processo de produção de tijolos de terra crua. Levaram-se em conta três variáveis: teor de cimento Portland (6%, 8% e 10%); teor de substituição de cimento Portland por resíduos cerâmicos moídos (0%, 25% e 50%); e teor de umidade nas amostras (11,8%, 13,8% e 15,8%). Observou-se que, com 6% de cimento Portland e 11,8% de umidade, a substituição de 25% de cimento por material

cerâmico eleva a resistência do material em 25,6%, e para substituição de 50% ocorre um decréscimo na resistência de 35,2%. Para 13,8% de umidade, a substituição de 25% de cimento por material cerâmico eleva a resistência do material em 10,6% e para substituição de 50% ocorreu um decréscimo na resistência de 30,3%. Finalmente, para 15,8% de umidade e substituição de 25% e 50% de cimento por material cerâmico, a resistência do material é reduzida em 16,1% e 40,7% respectivamente. Em todos os casos a idade de ensaio foi de 7 dias.

Silva (2003) estudou a incorporação de resíduos de EVA<sup>1</sup> em tijolos prensados de terra crua com teores de cimento Portland definidos em 6%, 8% e 10%. Para a incorporação de resíduos de EVA (em volume) nas amostras adotaram-se os teores 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, utilizando duas granulometrias diferentes (diâmetro máximo característico da partícula de EVA igual a 2,4 mm e EVA em pó). Os resultados da resistência a compressão dos tijolos para idade de 28 dias mostraram que, à medida que se aumentou o teor de EVA, a resistência reduziu sensivelmente, sendo essa redução mais brusca quando utilizado o EVA com D<sub>máx</sub> igual a 2,4 mm. A avaliação do desempenho térmico de paredes construídas com os tijolos estudados mostrou que a incorporação de 10% de EVA em pó e de 10% de cimento Portland conduziu a uma redução de 5 °C em relação à parede sem EVA.

Ferraz (2004) estudou a adição de resíduo da construção civil (RCC), parcela correspondente à argamassa de cimento Portland, em tijolos prensados de solo-cimento, sendo usadas amostras com solo natural adicionado com 20% e 40% de RCC e três teores de cimento Portland, 6%, 8% e 10%. Para a amostra com 6% de cimento Portland e com 20% de RCC, a resistência à compressão média, aos 7 dias, foi de 2,2 MPa. Quando se utilizaram 6% de cimento Portland e 40% de RCC, a resistência à compressão média, aos 7 dias, atingiu 3,2 MPa. Para a mesma idade, com 10% de cimento Portland e 20% de RCC, obtiveram-se 3,2 MPa de resistência a compressão. O maior resultado de resistência a compressão, 4,1 MPa, aos 7 dias, foi alcançado quando se combinaram 10% de cimento Portland e 40% de RCC. Em todos os casos os resultados foram superiores aos limites estabelecidos na NBR 8491 (ABNT, 1984a).

<sup>1</sup> EVA: etileno acetato de vinila é um material termoplástico produzido por polimerização a alta pressão, utilizado na indústria de calçados, na fabricação de solados (CTCCA, 2002).

Em vez de chamar simplesmente de tijolos de solo-cimento, neste artigo faz-se preferência pela denominação de blocos de terra crua estabilizada, considerando a estabilização mecânica por meio de prensagem (pressão de compactação com cerca de 2 MPa aplicada ao material no molde usado em prensa manual e a estabilização química mediante adição de baixo teor de cimento Portland, no caso 5%). A prensa usada tem um sistema de molas que comprime o material no interior do molde de baixo para cima e, no final do curso, tem-se também uma compactação de cima para baixo. Portanto, o processo de compactação ocorre em duplo sentido. As dimensões dos componentes pré-moldados estudados (14 cm x 10 cm x 28 cm) são determinantes para essa observação, em relação ao tratamento como blocos em vez de tijolos, mesmo que não necessariamente estejam contempladas na classificação dimensional para bloco na norma NBR 10835 (ABNT, 1994a). Na verdade, o pré-moldado estudado, considerando suas dimensões, não se enquadra também na norma NBR 8491 (ABNT, 1984a).

Para contribuir na difusão do sistema construtivo com uso dos blocos propostos neste trabalho e, ao mesmo tempo, buscar o necessário reconhecimento como tecnologia válida junto às instituições financiadoras para habitação de interesse social, é preciso ampliar o conhecimento sobre o comportamento dos componentes. Neste artigo, os estudos apresentados procuram trazer tais contribuições no que se refere à segurança estrutural. Nesse sentido, os ensaios em protótipo assumem importância para verificar a confiabilidade do sistema construtivo com o bloco proposto e, eventualmente, os resultados poderão servir como parâmetros para seu enquadramento na norma existente (NBR 10835 (ABNT, 1994)a).

## Ensaio em protótipo com alvenarias de blocos de terra crua estabilizada

Para a confecção dos blocos, primeiramente foi feita uma otimização da quantidade de material a

ser posto na prensa e da quantidade de água de mistura, conforme sugerido por Barbosa (1996). O teor de cimento Portland nas misturas foi de 5% em relação ao volume de terra (solo) no estado solto e seca ao ar. A determinação da umidade ótima de compactação foi baseada na análise tátil-visual da mistura, através do ensaio proposto pelo CEPED (1984). Os blocos foram produzidos em prensa manual (Figura 4), com dimensões de 14 cm x 10 cm x 28 cm (largura x altura x comprimento). Após a moldagem, os blocos foram colocados em lugar protegido da ação direta de sol e ventos, e cobertos com lona plástica, para garantir o processo de cura por, no mínimo, 7 dias. Após esse período, os blocos foram empilhados e mantidos recobertos com a lona plástica. O ensaio de resistência a compressão foi feito em 5 exemplares aos 7 dias de idade. O Quadro 1 resume as características dos materiais utilizados na produção dos blocos e os seus parâmetros avaliados.

Os ensaios para determinar a resistência a compressão e a absorção de água dos blocos foram realizados de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 1984b). Para resistência a compressão, os corpos de prova foram preparados da seguinte forma: o componente foi cortado ao meio, suas partes sobrepostas e, após a união das partes e o capeamento, foi imerso em água por 24 h. De acordo com a NBR 10834 (ABNT, 1994b), de uma amostragem de 10 blocos, 5 foram utilizados para ensaios de resistência a compressão e outros 5 foram utilizados para ensaios de absorção de água.

Para o estudo de desempenho de paredes ante cargas de ocupação e impactos, foi construído um protótipo, próximo ao Laboratório. Para a construção do protótipo foi necessária a confecção de cerca de 1.550 blocos. Esse protótipo representa um ambiente com pequenas dimensões (3,14 m x 2,65 m) de uma edificação (Quadro 2) e foi construído com blocos propostos com idade superior a 28 dias.



(a)



(b)

Figura 4 - (a) Bloco de terra crua estabilizada proposto por Mattone, e (b) prensa manual utilizada em sua fabricação no LABEME-UFPB

Bloco de terra crua estabilizado	
	Massa do bloco = 5,35 kg
Materiais	caracterização
Solo	Limite de Liquidez: 22% (NBR 6459 (ABNT, 1984c))
	Limite de Plasticidade: 18% (NBR 7180 (ABNT, 1984d))
	Índice de Plasticidade: 4% (NBR 7180 (ABNT, 1984d))
	Areia: 64%
	Silte + Argila: 35%
	Pedregulho: 1%
Cimento Portland	CP II Z 32 RS
Água	Potável, proveniente do sistema de abastecimento público: 15% em relação à massa de terra, no estado solto e seca
Produção	
	Mistura manual dos materiais
	Moldagem dos blocos em máquina do tipo prensa manual (Figura 4)
	Cura dos blocos: Cobrimento com lona plástica no interior do galpão
Parâmetros avaliados do bloco	
	Absorção de água média aos 7 dias igual a 11%
	Resistência à compressão média aos 7 dias igual a 2,07 MPa

Quadro 1 - Produção dos blocos para a construção do protótipo

Itens	Descrição/especificação
Área construída	8,32 m <sup>2</sup>
Pé-direito	2,65 m
Alvenarias (espessura = 14 cm)	Blocos (14 cm x 10 cm x 28 cm) assentados com argamassa fluida à base de terra e cimento Portland, conduzindo a juntas de 3 mm
Revestimento	Alvenaria aparente
Coberta em duas águas	Madeiramento com telha canal cerâmica
Esquadrias em madeira	Porta (folha prensada 0,80 m x 2,10 m; marco (caixilho ou batente) sem bandeira Janela (2 folhas com 0,50 m x 0,90 m) Ferragem: fechadura, ferrolhos e dobradiças
Embasamento (60 cm x 19 cm)	Tijolo cerâmico de 8 furos (9 cm x 19 cm x 19 cm)
Radier	Concreto armado moldado in loco entre embasamento e alvenaria (10 cm x 18 cm)
Contraverga	Concreto armado moldado in loco abaixo da janela
Cinta	Concreto armado moldado in loco na altura das esquadrias
Piso	Cimentado
Pintura	Inexistente nas paredes – blocos permaneceram aparentes Verniz nas esquadrias

Quadro 2 - Características do protótipo com blocos de terra crua estabilizada

### Processo de construção do protótipo - alvenarias com blocos de terra crua estabilizada

No processo de construção da alvenaria do protótipo (Figura 5), para o assentamento dos blocos, utilizou-se uma argamassa fluida, produzida com a própria terra usada na fabricação dos blocos, sendo aproveitada apenas a parcela de terra passante na peneira de 2,4 mm. A essa terra peneirada adicionaram-se 10% de cimento Portland (em relação à massa da terra) e um teor de

água, até se atingir uma consistência fluida. Dessa forma, durante o assentamento dos blocos, a argamassa foi espalhada sobre os componentes sem precisar uso de colher de pedreiro. O processo de assentamento dos blocos foi simples e acelerado em função dos encaixes, permitindo-se realizar o controle das amarrações entre as fiadas de blocos assentados, com juntas horizontais contínuas e juntas verticais descontínuas.

Durante a construção desse protótipo pôde-se verificar uma série de facilidades no uso dos

blocos para a execução das alvenarias, considerando-se a compatibilidade entre as dimensões dos blocos e a modulação do ambiente simulado no protótipo. Para permitir a execução do travamento dos blocos na alvenaria foram utilizados blocos inteiros e meio bloco.

Na Figura 6 veem-se as diversas fases de construção do protótipo, desde o embasamento com tijolos cerâmicos, o radier em concreto, a elevação das paredes com os blocos de terra crua estabilizada, a execução da cinta de amarração em concreto armado e a execução da cobertura com madeiramento e telha canal cerâmica.

### Metodologia e resultados obtidos

A metodologia utilizada para avaliar as cargas, solicitações e impactos nas paredes do protótipo, construído com os blocos de terra crua estabilizada, foi baseada nas normas NBR 8054 (ABNT, 1983), NBR 11678 (ABNT, 1990a) e NBR 11675 (ABNT, 1990b), e nas recomendações elaboradas para avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares (INSTITUTO...

1981). O detalhamento e os resultados de cada ensaio realizado nas alvenarias do protótipo apresentam-se a seguir.

### Ensaio de cargas provenientes de peças suspensas em paredes do protótipo

No ensaio de cargas provenientes de peças suspensas em paredes, a aparelhagem foi baseada na norma NBR 11678 (ABNT, 1990a), e a simulação foi reproduzida em duas paredes do protótipo por uma carga vertical excêntrica de 80 kgf. A aplicação da carga foi realizada mediante fixação na parede do protótipo de uma peça suspensa padrão (mão francesa). Após a fixação dessa peça, o ensaio iniciou-se com a colocação gradativa de massas de 5 kg, até atingir um total de 80 kg, necessários para a simulação desejada, quando foram registradas as deformações, através de relógios comparadores fixos na face oposta da parede submetida à carga (Figura 7). A carga permaneceu aplicada por 24 h. As deformações residuais foram registradas 15 min após a retirada total da carga.



Figura 5 - Blocos de terra crua estabilizada, com detalhes dos encaixes e execução da alvenaria

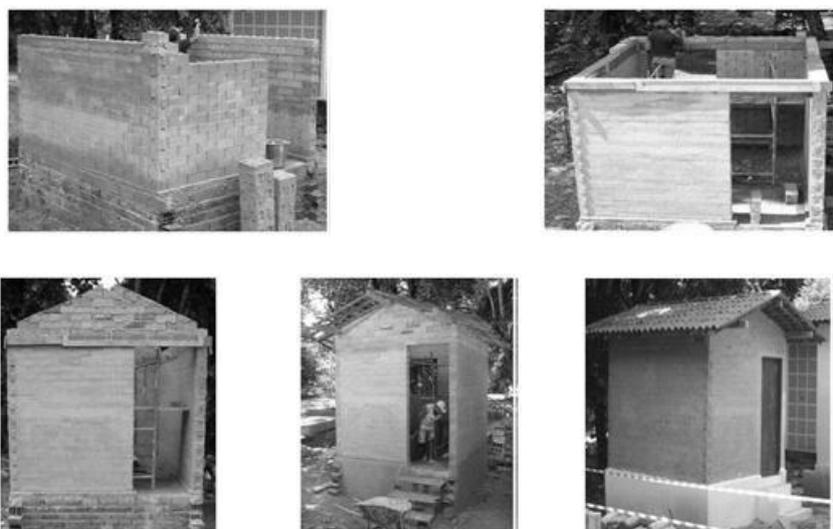


Figura 6 - Etapas de execução do protótipo com uso dos blocos de terra crua estabilizada

Os elementos fixadores da peça padrão e a técnica de fixação utilizados nesse ensaio foram bucha plástica comum IV-8, com perfuração da parede usando broca de referência 6 mm e fixação da peça padrão com uso de parafuso. Para a transmissão da carga à parede na parte inferior do suporte (mão francesa) foram colocados dois discos de aço (25 mm de diâmetro e 10 mm de espessura). Esse local foi inspecionado visualmente após a retirada total da carga, para verificar se havia danos à parede.

De acordo com o ensaio realizado, o requisito é que as paredes devem apresentar resistência mecânica aos esforços produzidos por cargas provenientes de peças suspensas, como armários, prateleiras, etc. O critério (INSTITUTO..., 1998) é que, após a parede ser submetida a carga durante 24 h, não podem ocorrer as seguintes prescrições: deformações horizontais maiores que  $h/500$ ;

deformações horizontais residuais maiores que  $h/2000$ , onde  $h$  é a altura do corpo de prova (parede); arrancamento dos fixadores ou elementos de fixação; rupturas, fissuras, escamações, nos locais de transferência das cargas (região de contato com os discos de aço) ou qualquer tipo de dano fora da região de aplicação da carga. É aceito na região de aplicação da carga o aparecimento de pequenas indentações ou amassamentos.

O resultado do ensaio com peças suspensas nas duas paredes do protótipo confirmou o bom desempenho dele, considerando que os valores das deformações registradas foram muito pequenos e inferiores às deformações-limite e residuais (Tabela 1). Não ocorreram também arrancamento dos fixadores nem quaisquer danos nas paredes ensaiadas.

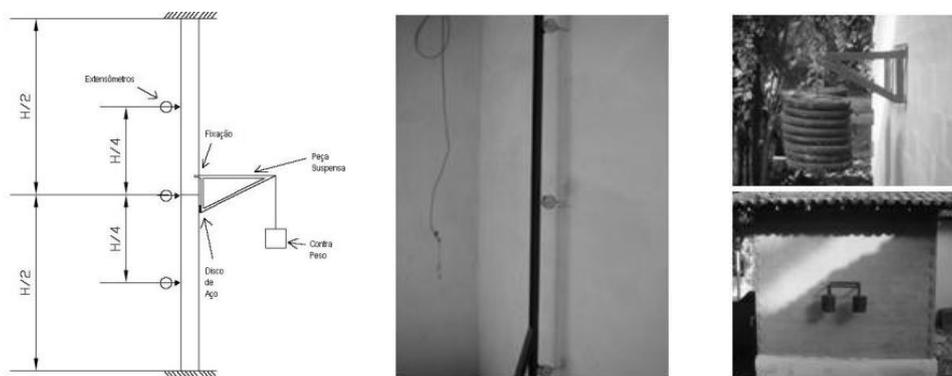


Figura 7 - Ensaio de cargas provenientes de peças suspensas em parede do protótipo

Tabela 1 - Deformações durante ensaio de cargas provenientes de peças suspensas na parede do protótipo com bloco de terra crua estabilizada

Parede Protótipo P2* (h = 2.650 mm)	Tipo de Fixação		
	Bucha: IV-8	Broca: 6,5	
Deformações	Inicial (mm)	Final (mm)	Residual (mm)
ds	0,000	0,030	0,030
dm	0,000	0,000	0,000
di	0,010	0,000	0,000
Deformação-limite (IPT, 1998)	<b>5,300</b>	<b>5,300</b>	<b>1,325</b>

Nota: \*A outra parede apresentou valores muito semelhantes.

Legenda:

- h = altura da parede;
- ds = deformação na parte superior;
- dm = deformação na parte média; e
- di = deformação na parte inferior.

### Solicitações em paredes do protótipo por fechamento brusco de portas

Nesse ensaio verifica-se o comportamento da interface parede/porta devido a solicitações por manobras anormais, como, por exemplo, batidas das portas devido à ação do vento. A aparelhagem do ensaio é baseada na norma NBR 8054 (ABNT, 1983). O procedimento consistiu em aplicar perpendicularmente ao plano da porta uma força de cerca de 15 kgf, no sentido de provocar seu fechamento. A folha, antes da aplicação da força, foi mantida aberta num ângulo de 60° com o plano do batente (Figura 8a). Realizaram-se 10 fechamentos bruscos e, após cada um deles, foram inspecionadas a interface porta/parede e a porta isoladamente, para o registro das ocorrências. O local de aplicação da força foi na maçaneta da própria porta, atendendo à condição de que deve ser em qualquer ponto situado a 1.000 mm do bordo inferior da folha e a 45 mm de seu bordo vertical.

A aparelhagem para aplicação da força foi constituída de um sistema composto de cabo de aço, roldanas e suporte para colocação de um contrapeso, de forma que fosse aplicada a força requerida (Figura 8b). O cabo de aço foi colocado de forma que, quando a porta chegasse a 3 cm de seu fechamento, a força aplicada não estivesse mais atuando.

O requisito e o critério (INSTITUTO..., 1998) são de que as paredes não devem apresentar avarias graves nem rupturas submetidas a solicitações transmitidas por portas, como fissurações, destacamento no encontro com o marco, cisalhamento na região de solidarização do marco ou destacamento entre as juntas. O resultado desse ensaio foi considerado positivo, uma vez que os dez impactos não prejudicaram o funcionamento normal da porta, ou seja, não ocasionou danos na folha, no marco e na parede. A pequena fissura que foi registrada na interface porta-parede, na verdade, já estava presente antes do início do ensaio, devido à movimentação diferenciada entre

os materiais, por variação de temperatura e unidade do ambiente. A abertura dessa fissura permanece a mesma após o ensaio (Figura 8b).

### Impactos de corpo duro e corpo mole em paredes do protótipo

Os ensaios para avaliação dos impactos de corpo mole e de corpo duro foram baseados nos documentos do IPT (1981) e na NBR 11675 (ABNT, 1990B). Para a realização do ensaio de impactos de corpo duro em paredes do protótipo, utilizou-se a seguinte aparelhagem:

- (a) uma esfera maciça de aço como corpo duro, com diâmetro aproximado de 50 mm e massa de 500 g, e outra com diâmetro aproximado de 100 mm e de 1.000 g;
- (b) um sistema pendular constituído de um suporte com altura superior à altura da parede e um cabo de aço, que foi destinado à sustentação da esfera maciça de aço; e
- (c) três relógios comparadores como dispositivos adotados para registro dos deslocamentos transversais da parede, instalados na face oposta aos impactos.

O ensaio de corpo duro verifica o comportamento das paredes quando submetidas a choques gerados dentro da edificação decorrentes de seu uso, ou externamente, através de impactos de pequena e grande dimensão. Esses impactos foram aplicados por meio de uma esfera maciça de aço abandonada em movimento pendular (Figura 9). Foram aplicados 10 impactos de cada modalidade (utilização e segurança), regularmente distribuídos pela superfície de duas paredes do protótipo. Para a realização desses impactos, a esfera foi afastada da superfície da parede do protótipo, até que seu centro de massa atingisse as cotas relacionadas à energia necessária, como descrito na Tabela 2. Logo após a realização dos impactos na parede do protótipo, esta foi inspecionada visualmente, a fim de se verificarem as prescrições expostas na NBR 11675 (ABNT, 1990b).



(a) posicionamento da porta antes dos fechamentos bruscos



(b) pequena fissura na interface batente-parede já existente antes da realização do ensaio

Figura 8 - Realização do ensaio de fechamento brusco de porta

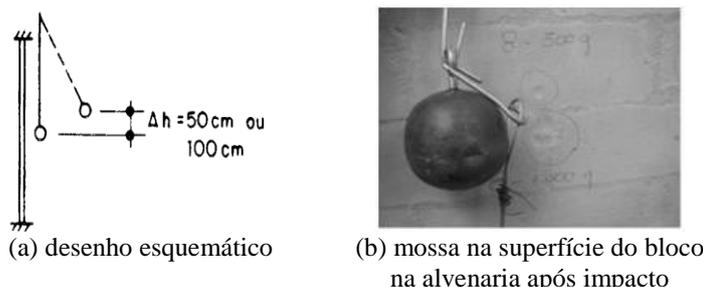


Figura 9 - Realização do ensaio de impacto de corpo duro na alvenaria do protótipo

Tabela 2 - Relação entre a energia de impacto adquirida e a altura de queda da esfera

Energia de impacto (J)	Utilização	Segurança
	2,5	10
Massa da esfera (g)	500	1.000
Altura da queda (cm)	50	100

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981).

Os requisitos (INSTITUTO..., 1998) são os de que, sob a ação de impacto de corpo duro, as paredes não devem apresentar ruptura ou avarias graves que prejudiquem sua função ou aspecto. Os critérios são que as paredes, quando sujeitas a impactos de corpo duro de pequenas dimensões (esfera menor) aplicados em qualquer ponto, não devem apresentar fissuras ou estilhaçamentos e mossas superiores a 2,0 mm. Sob impactos de corpo duro de grandes dimensões (esfera maior), também aplicados em qualquer ponto da parede, não deve ocorrer ruptura ou traspasse. O resultado desse ensaio mostrou que os poucos registros correspondem às mossas muitos superficiais na face do próprio bloco (Figura 9b), o que significa bom desempenho.

Os ensaios de corpo mole visam verificar o comportamento de paredes submetidas a impactos decorrentes de choques acidentais decorridos pelo próprio uso da edificação ou choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não. Para a realização desse ensaio, utilizou-se a seguinte aparelhagem (Figura 10), segundo a NBR 11675 (ABNT, 1990b):

(a) um saco cilíndrico de couro como corpo mole, com diâmetro e altura aproximados de 350 mm e 900 mm respectivamente, contendo no interior areia seca, com massa total de 40 kg;

(b) um sistema pendular constituído de um suporte com altura superior à altura da parede e um cabo de aço, que foi destinado à sustentação do saco cilíndrico durante o ensaio; e

(c) três relógios comparadores colocados na face oposta da parede sob impacto, como dispositivo adotado para registro dos deslocamentos transversais da parede.

Durante o ensaio de corpo mole, o saco cilíndrico foi abandonado em movimento pendular, em direção à parede (Figura 10), sendo a altura da queda determinada de forma a produzir a energia de impacto de utilização e de segurança (conforme a Tabela 3), que é especificada para paredes externas com função estrutural. Durante a realização do primeiro impacto do corpo mole, mediu-se a deformação horizontal da parede, através da leitura dos relógios comparadores calibrados e ajustados. O ensaio foi realizado em duas paredes, uma delas sem aberturas (janela ou porta – Figura 10b).

Os requisitos (INSTITUTO..., 1998) são que, sob a ação de impacto de corpo mole, as paredes externas devem apresentar resistência satisfatória e suas deformações devem manter-se dentro dos limites aceitáveis. Os critérios (INSTITUTO..., 1998) estão relacionados às seguintes exigências:

(a) sob ação dos impactos de utilização com 120 J, 240 J, 360 J e 480 J, não devem ocorrer danos, ruptura ou instabilidade;

(b) sob a ação dos impactos de segurança com 720 J, não deve haver ocorrência de ruína;

(c) sob a ação do primeiro impacto com energia de 240 J, a deformação horizontal não deve ser maior que  $h/250$ , e a deformação horizontal residual, medida no terceiro impacto, de 240 J, não deve ser maior que  $h/1250$ , sendo “h” a altura livre da parede (aqui considerado o pé-direito igual a 2,65 m).

As ações de impactos de corpo mole nos elementos da edificação não devem também provocar danos a componentes, instalações e acabamentos acoplados ao elemento em análise. Os resultados obtidos com o protótipo estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.



Figura 10 - Ensaio de impacto de corpo mole na alvenaria do protótipo

Tabela 3 - Relação da energia adquirida e da altura de queda do saco cilíndrico

Sequência de impactos	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
	Impactos de utilização				Impactos de segurança		
Energia de impacto (J)	120	240	240	240	360	480	720
Altura da queda (cm)	30	60	60	60	90	120	180
Exigências	Nenhum dano				Admitidas fissuras, escamações e outros danos.		

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1998).

Tabela 4 - Resultado do ensaio de corpo mole na face externa da parede P03 (com janela) do protótipo

Energia (J)	Deformação instantânea (mm)	Deformação residual (mm)	Ocorrências	Limite de deformação instantânea (mm)	Limite de deformação residual (mm)
120	0,04	0,00	Nenhuma	10,60	Impactos de utilização
240	0,27	0,03	Nenhuma		
240	2,60	0,04	Nenhuma		
240	2,59	0,00	Nenhuma		
360	3,55	0,00	Forte vibração	Impactos de segurança	
480	4,00	0,05	Forte vibração		
720	9,14	0,13	Forte vibração*		

Tabela 5 - Resultado do ensaio de corpo mole na face externa da parede P02 (sem aberturas) do protótipo

Energia (J)	Deformação instantânea (mm)	Deformação residual (mm)	Ocorrências	Limite de deformação instantânea (mm)	Limite de deformação residual (mm)
120	0,55	0,00	Nenhuma	10,60	Impactos de utilização
240	2,16	0,00	Nenhuma		
240	2,66	0,00	Nenhuma		
240	2,83	0,00	Nenhuma		
360	4,56	0,00	Forte vibração	Impactos de segurança	
480	5,00	0,00	Forte vibração		
720	5,56	0,00	Forte vibração*		

Nota: \*Ocorrência de uma fissura vertical com pequena abertura no encontro entre paredes.

Como visto nas Tabelas 4 e 5, no resultado de ensaio de corpo mole todos os valores de deformações, instantânea e residual, ficaram muito abaixo dos limites aceitáveis, atendendo a todos os critérios mínimos de segurança estrutural, o que conforma bom desempenho do protótipo com alvenaria de blocos de terra crua estabilizada. Em todos os impactos não se registraram ocorrências que colocassem em risco a segurança estrutural, inclusive nos locais críticos, tais como nas regiões próximas à janela (Figura 10c).

## Considerações finais

Com base nos estudos realizados, constata-se a simplicidade do processo de fabricação dos blocos de terra crua estabilizada, aqui entendida a estabilização por meio mecânico, através de compactação com prensa manual, e por meio químico, através da incorporação de 5% de cimento Portland na dosagem. Pelos resultados experimentais de desempenho estrutural obtidos, pode-se assegurar que o sistema construtivo com o uso dos blocos propostos pode ser uma alternativa válida a ser difundida para aplicação na produção de habitações em geral e de construções rurais.

A construção do protótipo com paredes utilizando o bloco de terra crua estabilizada e as avaliações realizadas (cargas de ocupação e impactos nas paredes) vieram contemplar uma importante etapa de estudo de verificação, no que se refere ao aspecto de segurança estrutural, considerando-o como parte dos critérios e requisitos para avaliação de desempenho da habitação. As avaliações foram realizadas em conformidade com IPT (1998), que recomenda que sejam executadas preferencialmente em protótipo da habitação, embora se admita a execução em laboratório, desde que as condições de vinculação da parede sejam representadas da melhor forma possível.

Portanto, a partir dos ensaios realizados nesse protótipo (habitação), destacam-se o bom desempenho das paredes submetidas às cargas provenientes de peças suspensas, considerando as deformações muito inferiores aos valores-limite, e a ausência de arrancamento dos fixadores e quaisquer danos na parede. A ausência de danos na interface parede-porta devido às solicitações de fechamentos bruscos por manobras anormais também significa resultado positivo na avaliação realizada. Com respeito aos impactos nas paredes, destaca-se seu bom desempenho ante os choques decorrentes de impactos de corpo duro de pequena e grande dimensão, considerando-se os registros de mossa muito pequenas na superfície dos próprios blocos aparentes na alvenaria. Finalmente, vale destacar o bom desempenho das paredes quando

submetidas a impactos (utilização e segurança) de corpo mole, considerando que todos os valores de deformações ficaram muito abaixo dos limites aceitáveis e pela ausência de danos nos componentes acoplados nas paredes (porta e janela).

No processo de construção do protótipo, algumas facilidades foram observadas com o uso dos blocos propostos, tais como: a composição da família de blocos (bloco inteiro e meio bloco), para realizar seu travamento durante o assentamento na execução das alvenarias, foi facilmente obtida a partir de cortes feitos no bloco inteiro, com pouco desperdício de material; e a interação entre os blocos e a cinta em concreto armado moldada *in loco* foi notável. Isso mostra que esse bloco é compatível com processos usuais na execução de alvenarias nas construções. O processo de assentamento dos blocos foi simples e acelerado em função dos encaixes previstos entre os elementos, que facilitaram o controle da amarração (horizontal e vertical) na execução da alvenaria.

O presente estudo, considerado como preliminar, oferece mais uma contribuição ao processo evolutivo da pesquisa que visa difundir o bloco de terra crua estabilizada como uma alternativa válida na execução de alvenarias. As garantias de desempenho verificadas sugerem grande potencial de aplicação em alvenarias para o bloco proposto, com importantes repercussões na redução de impactos negativos no meio ambiente, na medida em que oferece uma alternativa para o uso racional dos materiais naturais, com baixo consumo de energia, associada a tecnologia simples e confiável na produção dos componentes.

Entretanto, há de se reconhecer a importância da continuidade na experimentação dos componentes propostos, tendo em conta outros critérios e requisitos de desempenho para habitação, tais como habitabilidade (conforto térmico e acústico, estanqueidade à água) e durabilidade.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: tijolo maciço de solo-cimento, 1984a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água, 1984b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984c.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10835**: bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: forma e dimensões. Rio de Janeiro, 1994a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1994b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8054 (MB 1789)**: porta de madeira de edificação: verificação do comportamento da folha submetida a manobras anormais. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11678 (MB 3259)**: divisórias leves internas moduladas: verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas. Rio de Janeiro, 1990a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11675 (MB 3256)**: divisórias leves internas moduladas: verificação da resistência a impactos. Rio de Janeiro, 1990b.
- BARBOSA, N. P. **Considerações Sobre Materiais de Construção Convencionais e Não Convencionais**. João Pessoa: Publicação do Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas do Centro de Tecnologia da UFPB, 2005.
- BARBOSA, N. P. **Construções Com Terra Crua do Material à Estrutura**. 1996. 118 f. Monografia (Professor Titular da área de Estruturas) - Departamento de Tecnologia da Construção Civil do Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1996.
- BARBOSA, N. P.; SOUZA, S. M.; MATTONE, R. Um Método Construtivo de Casas Populares com Tijolos Prensados de Terra Crua Estabilizados Com Cimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CIMENTO, 4., São Paulo, 1996. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1996. v. 3, p. 263-276.
- BARBOSA, N. P.; MATTONE, R. Construção Com Terra Crua. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA, 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Proterra/Cyted, 2002.
- CENTRO TECNOLÓGICO DO COURO, CALÇADOS E AFINS. **Materiais Solados Palmilhas de Montagem**. Novo Hamburgo: CTCCA, 2002. Série Literatura Técnica Básica em Calçados, v. 1.
- CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. **Manual de Construção com Solo-Cimento**. São Paulo: ABCP. 1984. 114 p.
- DALLACORT, R.; LIMA JÚNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L. **Análise da Resistência à Compressão do Solo Estabilizado Com Cimento Mais Resíduo Cerâmico Moído**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: COMBEA, 2002.
- FERRAZ, A. L. N. **Análise da Adição de Resíduos de Argamassa de Cimento em Tijolos Prensados de Solo-Cimento**. 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares**: segurança estrutural. São Paulo: IPT, 1981.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Critérios Mínimos de Desempenho para Habitações Térreas de Interesse Social**. São Paulo: IPT, 1998.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- NEVES, C. M. M.; CARNEIRO, A. P.; COSTA, D. B. Uso de Agregado Reciclado em Tijolos de Solo Cimento Estabilizado Com Cimento. In: **Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção**. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2000. p 230-259.
- OLIVIER, M. **Le Matériau Terre**: compactage, application aux structures em blocs de terre. 450f. 1994. These (Doctorat em Genie Civil), Institut Nationale de Sciences Appliquées, Lyon, 1994.
- ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J. Solo-Vinhaça Concentrada: aplicação na fabricação de tijolos. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1996. p. 117-122.

SOUZA, M. S. **Tijolos de Terra Crua Reforçados Com Filtros Vegetais**. 113 f. 1993. Campina Grande. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Escola de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1993.

SOUZA, M. I. B.; PEREIRA, J. A.; SILVA, A. A. Tijolos de Solo-Cimento Com Resíduos de Construção. **Revista Técnica**, Ed. PINI, v. 113, n. 14, p. 60-65, ago, 2006.

SILVA, P. E. **Incorporação de Resíduo da Indústria de Calçados (EVA - Etileno Vinil Acetato) em Tijolos Prensados de Terra Crua**. 81 f. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Escola de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2003.

## Agradecimentos

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME), onde os ensaios foram realizados, pelo apoio (pessoal e equipamentos) na concretização dos estudos, e à FAPESQ/MCT/CNPq, pelo auxílio financeiro na execução de toda esta pesquisa.

### **Revista Ambiente Construído**

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído  
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro  
Porto Alegre - RS - Brasil  
CEP 90035-190  
Telefone: +55 (51) 3308-4084  
Fax: +55 (51) 3308-4054  
[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)  
E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)