

Avaliação da resistência à compressão de miniparedes executadas em escala 1:3 confeccionadas com tijolos de solo, cimento e RCD

Enga. Jéssica Marcomini Pinatt
UEM, Maringá, Brasil, jessica_marcomini@hotmail.com

Prof. Dr. Jesner Sereni Ildefonso
UEM, Maringá, Brasil,, jsildefonso@uem.br

Profa. Dra. Juliana Azoia Lukiantchuki
UEM, Maringá, Brasil, jazoia@yahoo.com.br

Prof. Dr. Jeselay Hemetério Cordeiro dos Reis
UEM, Maringá, Brasil, jeselay@hotmail.com

RESUMO: As misturas de solos com cimento são realizadas com o objetivo de melhorar suas características mecânicas de resistência e compressibilidade, sendo este processo denominado de estabilização química. Os solos estabilizados quimicamente têm sido usados em diversas áreas da construção, entre elas, na confecção de tijolos (chamados de tijolos ecológicos). Muitas pesquisas foram feitas para verificar a viabilidade de incorporação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) para confecção de blocos de ecológicos (LIMA, 2003; RODRIGUES, 2008; SOUZA *et al*, 2008). A utilização de solo, cimento e resíduos para a confecção de tijolos é uma forma de reaproveitar materiais, reduzir gastos e preservar o meio ambiente. Na pesquisa de comportamento de alvenaria de tijolos, uma forma de se identificar o mecanismo de ruptura se dá com o uso de ensaios em modelos reduzidos. Dessa forma, essa pesquisa foi realizada utilizando-se modelos em escala reduzida 1:3, para a verificação da resistência à compressão simples de miniparedes executadas com tijolos de solo, cimento e RCD. A finalidade da pesquisa é analisar a composição ideal de materiais, para atingir a maior resistência à compressão simples em miniparedes, e estudar o comportamento dos tijolos quanto à forma de ruptura. As misturas estudadas foram nas proporções 100% solo, 75% solo mais 25% RCD e 50% solo mais 50% RCD, todas elas com as seguintes variações de cimento 4 e 6%. Após a coleta do material foi realizada sua preparação, o solo usado foi o passante na peneira número 10 e o resíduo passante na peneira número 40, foram executados os ensaios de caracterização para o solo e para o resíduo. Foram feitas nove curvas de compactação, uma para cada mistura e para cada curva de compactação foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos e ensaiados à compressão diametral para obtenção da resistência à tração. Por último, foram moldados tijolos em escala 1:3, usados para confecção de miniparedes e após sete dias secando ao ar livre, foram feitos os ensaios de compressão simples em miniparedes, foram ensaiadas 6 miniparedes, uma para cada mistura com porcentagens de cimento de 4 e 6%. Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão de miniparedes demonstraram que a mistura 94,0% solo com 6,0% de cimento foi o que apresentou a maior resistência à compressão, suportando 1,15 MPa até o momento da ruptura. Diferente do esperado, o acréscimo de RCD às misturas não ocasionou aumento na resistência à compressão de miniparedes, e sim, uma redução.

PALAVRAS-CHAVE: Misturas de solo-cimento, Modelos em escala reduzida, Forma de ruptura em alvenaria.

1 INTRODUÇÃO

O solo-cimento já vem sendo utilizado há alguns anos e no Brasil o interesse pelo material se manifestou a partir de 1936, quando sua aplicação foi regulamentada pela ABCP. (FERRAZ e SEGANTINI, 2003 *apud* LIMA, 2013). Todo solo acrescido de cimento apresenta melhorias em suas características mecânicas. Os solos do tipo arenosos são mais indicados para a mistura solo-cimento, pois sua granulometria contribui para um menor consumo de cimento, enquanto que solos do tipo silteosos e argilosos necessitam de um elevado consumo de cimento (ROSÁRIO; TORRESCASANA, 2011).

Com o intuito de preservar o meio ambiente e reduzir gastos, a construção civil busca o reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD), de modo que este material passe à condição de matéria prima, sendo utilizado com vantagens técnicas, como é o caso de sua incorporação em tijolos de solo-cimento (SOUZA *et al*, 2008).

Paredes executadas com tijolos de solo-cimento não necessitam de fôrmas, proporcionam facilidade para passagem de instalações elétricas e hidráulicas, além de serem mais rápidas de se executar, quando comparadas à paredes monolíticas do mesmo material. Desde que sejam bem executadas, apresentam boa durabilidade e resistência à compressão (CASANOVA, 2004).

A incorporação de RCD em mistura de solo-cimento para confecção de tijolos surge como alternativa sustentável para o reaproveitamento do RCD, diminuindo o consumo de recursos naturais e matérias, sem o processo de queima, além de reduzir o volume de resíduos para descarte, melhorando a eficiência da construção civil.

A partir dos modelos reduzidos é possível visualizar o comportamento mecânico do material, e, dessa forma, conhecer os modos de ruptura e entender como os materiais reagem perante as solicitações. Quanto à escala, quanto menor as dimensões do modelo, maior será a diferença entre os seus resultados e o comportamento do protótipo (escala real), pois mais difícil se torna a reprodução fiel das características físicas e geométricas

(ANDOLFATO, 2002).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a resistência à compressão simples de miniparedes, bem como estudar o comportamento dos tijolos quanto à forma de ruptura usando modelos em escala reduzida 1:3. Os materiais utilizados foram caracterizados a partir do teor de umidade, massa específica dos sólidos, limite de liquidez, limite de plasticidade, granulometria, parâmetros de compactação, bem como parâmetros de resistência a compressão simples e resistência a tração em corpos de prova cilíndricos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solo Cimento

A NBR 12023/1992 define solo-cimento como “produto endurecido, resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem, executada conforme a NBR 12253”.

Os solos ideais para a mistura solo-cimento devem apresentar entre 45% e 50% de areia em sua composição. O efeito pode ser melhor quando a areia usada é grossa, pois se comportam como materiais inertes com função de enchimento, uma maior quantidade de cimento é usada para aglomerar grãos menores (RODRIGUES, 2008).

As propriedades da mistura solo-cimento podem ser afetadas por diversos fatores, entre eles: tipo de solo, teor de cimento, umidade, homogeneidade da mistura, compactação, idade e processo de cura. O aumento da quantidade de cimento na mistura ocasiona um aumento de resistência e durabilidade, independente do tipo de solo. Mas, se o teor de cimento for muito alto e a cura não for realizada de forma correta, é possível que ocorra fissuras causadas pela retração por secagem (MIELI, 2009).

2.2 Tijolos de Solo Cimento

Segundo a NBR 8491/1984, o tijolo de solo-cimento deve apresentar volume maior ou igual a 85% de seu volume total aparente, composto por uma mistura homogênea e compactada de solo, cimento Portland e água, podendo ainda ser composta por aditivos desde que estejam em

proporções que atendam a norma citada.

Construções feitas com tijolos solo-cimento apresentam comportamento térmico e durabilidade equivalente as construções convencionais em alvenaria, podem ser usados tanto em paredes de vedação quanto em paredes estruturais, para isso, devem apresentar as resistências adequadas conforme estipulado nos critérios de projeto (MOTTA *et al*, 2014).

A utilização de tijolos ecológicos se torna viável devido a sua grande durabilidade e necessidade de manutenção reduzida. No entanto, sua aplicação em grande escala se torna inviável para a demanda atual, devido a lentidão no processo de fabricação quando comparado aos tijolos convencionais (MORAIS *et al*, 2014). Além disso, existe o fator custo, quanto mais cimento for utilizado para atingir a resistência adequada, maiores serão os gastos envolvidos.

2.3 Modelos em Escala Reduzida

A execução de modelos em escala reduzida é necessária para verificar as exigências técnicas, a segurança estrutural e se obter credibilidade nas agências governamentais financiadoras. Também são usados para verificar a confiabilidade do sistema construtivo (MELO *et al*, 2010).

Por definição, modelo de resistência última é um modelo direto que representa o protótipo geometricamente em dimensões internas e externas. Os materiais utilizados nos modelos reproduzem fielmente as características dos materiais usados no protótipo. Dessa forma, é possível prever o modo de comportamento do protótipo para qualquer carga aplicada (ANDOLFATO, 2002).

O ideal para a avaliação do desempenho de sistemas de alvenaria é a utilização de modelos em escala real. No entanto, devido à grandeza das cargas e a complexidade do sistema, o ensaio de modelos em verdadeira grandeza requer um infraestrutura e instrumentação sofisticada. Nesse sentido, o uso de modelos em escala reduzida se apresenta como uma alternativa viável devido à facilidade de execução e redução de custos. Contudo, o uso de modelos em escala reduzida apresenta várias restrições na representação completa dos

fenômenos, necessitando de um criterioso estudo das propriedades do modelo e sua influência do resultado, bem como do efeito dimensional de cada variável avaliada.

De acordo com Klein (1988) *apud* Andolfato (2002), “O uso de modelos traz grandes vantagens para o perfeito entendimento dos fenômenos que ocorrem nas estruturas e podem ser utilizados no ensino, pesquisa e desenvolvimento de projetos”. Além disso, é importante ressaltar que através dos modelos físicos é possível levar em conta os efeitos de segunda ordem e efeitos indeterminados que podem ter sido negligenciados nos estudos teóricos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A confecção dos tijolos foi realizada com solo residual evoluído a partir do arenito Caiuá, coletado do horizonte superficial, aproximadamente 1,5 m de profundidade, em Mandaguaçu – PR, para uso da fração passante na peneira de número 10.

O cimento utilizado foi o CPII 32 Z da Votoram, composto por 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático e o resíduo de construção e demolição (RCD) proveniente de argamassa e alvenaria, do qual se utilizou a fração fina (passante na peneira número 40) oriundo da Recicladora Mauá, em Maringá – PR.

Foram confeccionados em torno de 200 tijolos de solo-cimento com RCD, em escala 1:3, cujas dimensões foram reduzidas tomando-se como base um tijolo de 30 x 15 x 7,5 cm resultando em mini tijolos de 10 x 5 x 2,5 cm (Figura 1).



Figura 1. Comparação entre tijolo de solo cimento em escala real e escala reduzida 1:3.

Os tijolos foram moldados com base na NBR 10832/1989 e NBR 8491/1984 usando compactação dinâmica, com soquete de 2,6 kg, nas condições de teor de umidade ótimo e o peso específico seco máximo obtidos na curva de compactação determinada em ensaio de Proctor com energia normal.

Para a moldagem dos mini tijolos foi utilizada forma metálica com capacidade de confecção de 4 tijolos por vez. A forma é composta pelo fundo (A), laterais maiores (B), laterais menores (C), abraçadeiras (D), hastes centrais (E), placas intermediárias (F) e soquete (G), todos esses itens se encaixam formando a estrutura apresentada no item (H) (Figura 2).

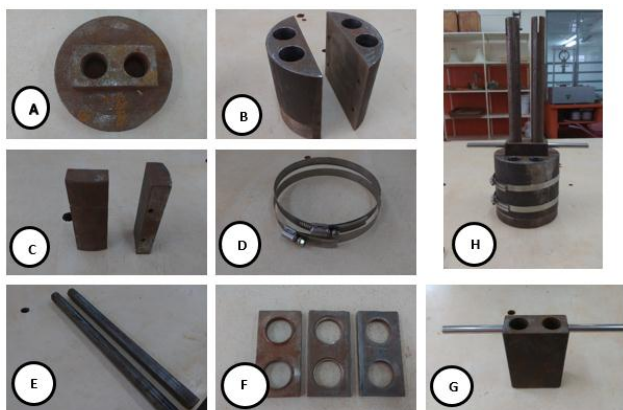


Figura 2. Forma de aço para moldagem de tijolos em escala reduzida 1:3.

A configuração da mini parede se deu com 20 tijolos, dessa forma, suas dimensões são 20 x 25 cm. Foi executada dessa forma para a comparação com paredes em escala real em trabalhos futuros.

A preparação da mini parede para ruptura consistiu em seu capeamento com argamassa plástica executado 24 h antes do rompimento. Essa camada de regularização com a argamassa tinha como objetivo possibilitar uma melhor distribuição das cargas no momento do rompimento. O acondicionamento da mini parede na prensa foi realizado com duas placas de aço, uma na parte superior e outra na parte inferior (Figura 3).



Figura 3. Acondicionamento de mini parede entre placas de aço.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de compactação realizados resultaram nas curvas apresentadas na Figura 4. Cada curva forneceu um valor de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo, esses valores foram usados para a determinação das massas de materiais usados nos ensaios posteriores.

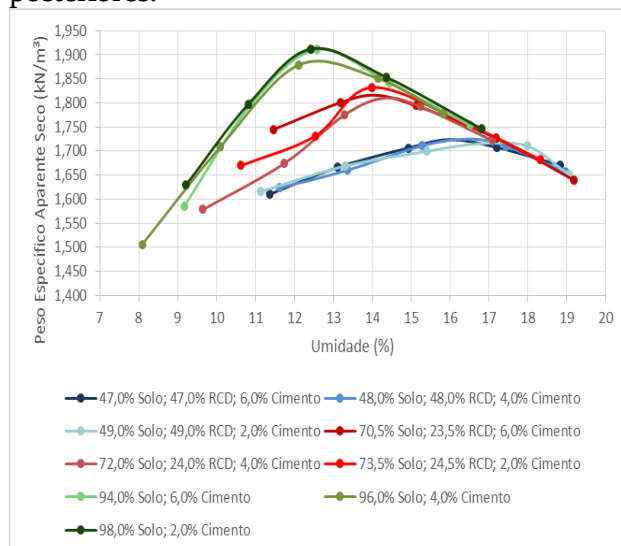


Figura 4. Curvas de Compactação.

Analisando as curvas apresentadas na Figura 4, é possível observar que a variação nos teores de cimento não causa grandes alterações nos valores dos parâmetros de peso específico

aparente seco e umidade ótima. E, também, quanto maior a quantidade de resíduo, menor é o peso específico aparente seco.

Para cada mistura foram moldados três corpos de prova para a determinação da resistência à tração por compressão diametral. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização de cada mistura.

Mistura	Massa Seca (g)	Massa úmida (g)	Leitura (µm)	Força (N)	Força Média (N)	σ_t (MPa)	σ_t médio (MPa)
1	CP1	409,62	417,00	370,00	696,55	0,09	0,07
	CP2	412,47	419,77	210,00	410,95	0,05	
	CP3	410,67	417,94	285,00	544,82	0,07	
2	CP1	409,67	421,38	735,00	1348,07	0,17	0,18
	CP2	410,12	420,64	800,00	1464,10	0,19	
	CP3	406,45	418,57	780,00	1428,40	0,18	
3	CP1	404,41	424,25	610,00	1124,95	0,14	0,16
	CP2	397,20	419,55	760,00	1392,70	0,18	
	CP3	395,93	418,50	710,00	1303,45	0,17	
4	CP1	411,00	411,76	130,00	268,15	0,03	0,03
	CP2	409,92	410,80	120,00	250,30	0,03	
	CP3	410,95	411,79	128,00	264,58	0,03	
5	CP1	396,63	416,81	794,00	1453,39	0,19	0,18
	CP2	393,51	412,34	812,00	1485,52	0,19	
	CP3	393,64	416,45	710,00	1303,45	0,17	
6	CP1	388,68	414,91	768,00	1406,98	0,18	0,18
	CP2	390,04	416,40	842,00	1539,07	0,20	
	CP3	378,51	407,91	734,00	1346,29	0,17	
7	CP1	384,32	401,88	108,00	228,88	0,03	0,03
	CP2	385,62	402,78	104,00	221,74	0,03	
	CP3	382,16	400,54	94,00	203,89	0,03	
8	CP1	385,12	409,58	435,00	812,57	0,10	0,10
	CP2	376,77	406,10	445,00	830,42	0,11	
	CP3	383,23	407,90	420,00	785,80	0,10	
9	CP1	376,72	399,10	685,00	1258,82	0,16	0,15
	CP2	377,29	405,06	625,00	1151,72	0,15	
	CP3	377,79	404,66	596,00	1099,96	0,14	

resistência à tração. De acordo com o esperado, quanto maior o teor de cimento maior seria a resistência adquirida, porém, pode-se observar que isso não ocorreu para a mistura 94,0% de solo com 6,0% de cimento, e, as misturas 72,0% solo; 24,0% RCD; 4,0% cimento e 70,5% solo; 23,5% RCD; 6,0% cimento, apresentaram uma diferença muito pequena.

A forma de ruptura dos corpos de prova cilíndricos consiste em uma fissura central que divide a peça ao meio, como consta na Figura 6.

A partir dos resultados do rompimento dos corpos de prova à tração foi descartada a confecção de tijolos para execução e ensaio de rompimento de miniparedes com porcentagens de 2% de cimento, em virtude de que esse teor de cimento não foi suficiente para estabilizar a mistura.

Para as demais misturas foram feitas as miniparedes e determinada a resistência à compressão, cujos valores obtidos estão apresentados na Tabela 2.

A Figura 5 apresenta os valores de

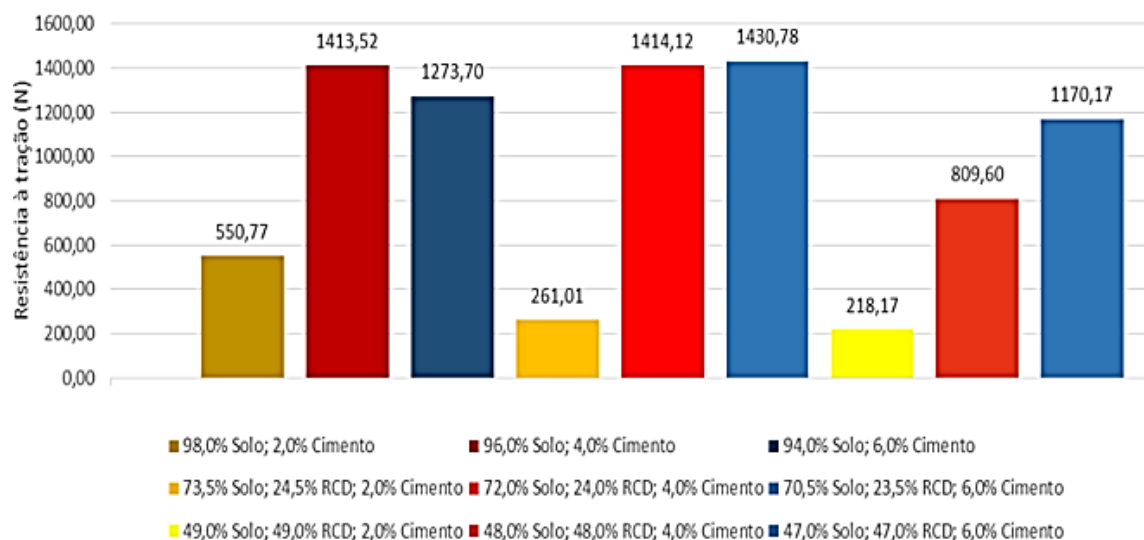


Figura 5. Resistência à tração em corpos de prova cilíndricos.



Figura 6. Corpo de prova após ruptura no ensaio de resistência à compressão diametral.

Tabela 2. Resistência à compressão de miniparedes.

Mistura	Leitura (µm)	Resistência à Compressão (N)	σ_c bruta (MPa)	σ_c líq. (MPa)
2	65,00	1545,31	0,15	0,719
3	104,00	2472,50	0,25	1,150
5	50,00	1188,70	0,12	0,553
6	85,00	2020,79	0,20	0,940
8	55,00	1307,57	0,13	0,608
9	55,00	1307,57	0,13	0,608
Média		1640,41	0,16	0,763

As Figuras 7 e 8 mostram a forma da ruptura à compressão das miniparedes. Observou-se uma similaridade nas fissuras de todas as miniparedes (possuíam pequenas fissuras verticais espalhadas na direção longitudinal e uma fissura vertical mais contínua na lateral), independentemente do teor de cimento ou de RCD usado na confecção dos tijolos. Foi observado que, na ruptura, as fissuras se encontravam espalhadas pela miniparede.

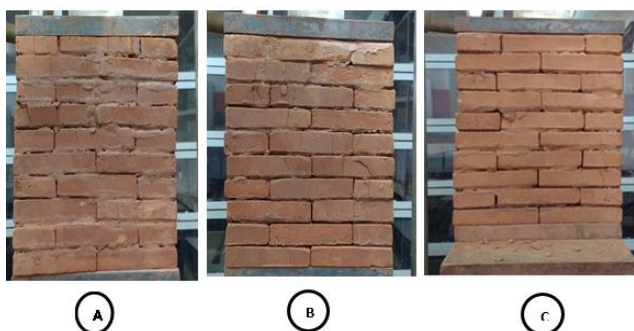


Figura 7. Vista frontal de miniparedes rompidas.

As fissuras verticais podem ter sido causadas por pequenas excentricidades e pela seção estar completamente comprimida, como ocorrem em tijolos cerâmicos.

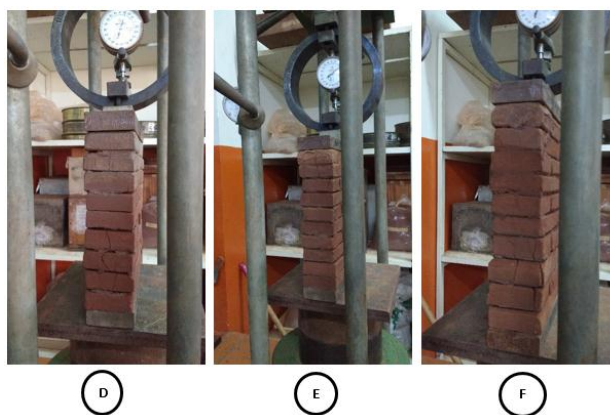


Figura 8. Vista lateral de miniparedes rompidas.

A ordem de grandeza dos valores diferiu do encontrado no ensaio de resistência à tração, acredita-se que isso tenha ocorrido devido ao método de cura utilizado, os corpos de prova foram armazenados por sete dias em saquinhos plásticos dentro da câmara úmida, enquanto que os tijolos ficaram armazenados em bandejas, em local seco ao ar livre. Optou-se por isso com intuito de facilitar o armazenamento dos tijolos e evitar a quebra.

Diferente do esperado, observou-se que quanto maiores as proporções de resíduo acrescentadas, menor era a resistência dos tijolos, pois, eles apresentavam-se quebradiços.

5 CONCLUSÃO

As curvas de compactação não apresentaram grandes variações nos parâmetros de umidade ótima e peso específico aparente seco com a variação das porcentagens de cimento. E, quanto maior a quantidade de resíduo menor o peso específico aparente seco da mistura.

Com base nos valores obtidos nos ensaios foi possível analisar que entre as misturas estudadas a que apresentou maior resistência à tração em corpos de prova cilíndricos foi a mistura 70,5% solo, 23,5% RCD e 6,0% cimento, com valor de 0,18 MPa. Enquanto que entre as miniparedes, o maior valor de resistência à compressão simples encontrado foi na mistura com 94,0 % de Solo e 6,0% de cimento, que atingiu 1,15 MPa.

De modo geral, pode-se dizer que quanto maior o teor de cimento, maior a resistência adquirida, mas isso não ocorreu nos ensaios de

compressão diametral. E ainda, no ensaio de resistência à compressão de miniparedes, o acréscimo de resíduo provocou redução da resistência.

Optou-se por realizar a cura ao ar livre, sem umidificar os tijolos ao longo dos 7 dias. Os resultados não foram satisfatórios para as misturas com porcentagens de 50% solo e 50% resíduo, uma vez que os tijolos apresentaram-se muito frágeis. Ao colocá-los em contato com água eles se quebravam e, dessa forma, acredita-se que existam outros métodos mais eficientes para a realização da cura adequada.

Quanto à forma de ruptura, as miniparedes mostraram o mesmo comportamento em todos os casos apresentando fissuras espalhadas por toda a superfície das paredes, com uma trajetória transversal com relação ao tijolo, o que evidencia a ruptura por tração.

O estudo de alvenaria em modelos reduzidos é muito vantajoso, pois possibilita analisar os modos de ruptura e o comportamento dos materiais envolvidos de modo simplificado, economiza-se tempo, dinheiro e esforço físico. E ainda, é possível prevenir possíveis problemas para a reprodução da alvenaria em escala real.

AGRADECIMENTOS

A todos os funcionários do Laboratório de Materiais de Construção e Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, que contribuíram para a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12023: Solo-cimento: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. ABNT NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984.
- _____. ABNT. NBR 12253: Solo - Cimento - Dosagem para Emprego como Camada de Pavimento. Rio de Janeiro: 1992.
- _____. ABNT NBR 10832: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1992.
- ANDOLFATO, R. P. Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala (1:4). 2002. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.
- CASANOVA, F. J. Alvenaria de solo-cimento. *Téchne*, ed. 85, abr. 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenhariacivil/85/artigo286284-1.aspx>>. Acesso em 12 nov. 2015.
- LIMA, F. X. R. F. Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações. 2013. 128f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- MELO, A. B.; BARBOSA, N. P.; LIMA, M. R. F.; SILVA, E. P. Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 2, p. 111-124, 2011.
- MIELI, P. H. Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. 2009. 59f. Projeto de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- MORAIS, M. B.; CHAVES, A. M.; JONES, K. M. J. Análise de viabilidade de aplicação na construção civil contemporânea. *Revista Pensar Engenharia*, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, 2014.
- MOTTA, J. C. S. S.; MORAIS, P. W. P.; ROCHA, G. N.; TAVARES, J. C.; GONÇALVES, G. C.; CHAGAS, M. A.; MAGESTE, J. L.; LUCAS, T. P. B. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. *Exacta*, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014.
- PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural. São Carlos: EdUFSCar, 2º edição, p. 175, 2013.
- RODRIGUES, M. L. A. Adição de resíduo de argamassas mistas na produção de tijolos modulares de solo cimento. 2008. 106f. Dissertação (Pós graduação em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.
- ROSÁRIO, T. D; TORRESCASANA, C.E.N. Tijolos de solo-cimento com resíduos de concreto. Chapecó, SC, 2011.
- SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.