



ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO SOLO-CIMENTO AUTOADENSÁVEL PARA FABRICAÇÃO DE PAREDES MONOLÍTICAS IN LOCO¹

SOUZA, Bruna Ramos (1); PAZ, João Gabriel Santana (2); MILANI, Ana Paula Silva (3)

(1) UFMS, e-mail: b.ramosdesouza@gmail.com; (2) UFMS, e-mail: jgabrielsp@gmail.com; (3) UFMS, e-mail: ana.milani@ufms.br

RESUMO

O aprimoramento da tecnologia no processo construtivo com o solo-cimento fluido ou solo-cimento autoadensável (SCAA) vem de encontro com a busca da produção de edificações modulares e em série. Para contribuir com este cenário e continuando projetos de iniciação científica, a presente pesquisa tem como objetivo estudar a viabilidade técnica do uso do produto SCAA para a fabricação de paredes monolíticas in loco, bem como contribuir em soluções construtivas para a produção de vedações de edificações de grande volume. Para tal, foi necessário o estudo das características físico-mecânicas de misturas de SCAA e confecção de painéis de paredes monolíticas de SCAA aplicando mecanização para preparação, homogeneização e lançamento da mistura SCAA em fôrmas metálicas; e, posteriormente, quantificado e qualificado a viabilidade dessas técnicas, materiais e equipamentos adotados no processo construtivo. A dosagem do SCAA na proporção 1:5 (cimento:solo, em massa) mostrou viabilidade técnica de uso para fabricação de paredes monolíticas moldadas in loco, sendo que o processo de preparação da mistura em betoneira estacionária e lançamento manual sem adensamento foi considerado eficaz, já que o SCAA no estado fresco apresentou-se fluido, homogêneo, sem segregação; e no estado endurecido alcançou resistências mecânicas compatíveis para construção de paredes monolíticas.

Palavras-chave: terra crua. desempenho físico-mecânico. produtividade.

ABSTRACT

The improvement in the technology of construction process with the flowing soil-cement or self-compacting soil-cement (SCSC) thwarts the search of modular production and in series buildings. Contributing with this scene and continuing projects of scientific initiation, the aim of this research is to study the technical viability usage of the self-compacting soil-cement for the building of monolithic walls in loco, as well as to contribute with the constructive solutions for the production of the buildings fences of high-volume and large-scale. To this end, the study the physic-mechanical characteristics of the mixtures of SCSC and fabrication of the panel of monolithic walls makes with SCSC, applying many types of mechanization for the preparation, homogenization and throwing of the mixtures of SCSC in molds was necessary; and, posteriorly, quantify and analyze the viability of these techniques, materials and equipments adopted in the constructive process. The dosage of the SCSC in the ratio 1: 5 (cement : soil mass) showed use of technical viability for the manufacture of monolithic walls

¹ SOUZA, Bruna Ramos; PAZ, João Gabriel Santana; MILANI, Ana Paula Silva. Estudo da viabilidade técnica do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas in loco. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

molded in loco, and the process of preparing the mixture in a stationary and manual release without densification was considered efficient as the SCSC in fresh presented is fluid, homogeneous without segregation ; and in the hardened state reached mechanical strength compatible to build monolithic walls.

Keywords: raw earth. physical-mechanical performance. productivity.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está inserida em um processo mundial que visa não somente o conforto dos usuários das edificações, mas também a otimização dos sistemas e processos construtivos, para que consumam quantidade menor de energia e produzam menos resíduos em seu ciclo de vida. Diante disso, é de grande importância o aprimoramento da tecnologia no processo construtivo com solo-cimento fluido ou solo-cimento autoadensável.

O desenvolvimento de misturas com adequadas proporções de solo, cimento, água e aditivo químico plastificante deu origem ao solo-cimento fluido ou solo-cimento autoadensável (SCAA). De acordo com Berté e Alcântara (2013); e Milani e Barboza (2014) tal material pode ser lançado em fôrmas, dispensando a etapa de adensamento por prensagem ou compactação e possui características físico-mecânicas adequadas para atender às solicitações usuais de paredes monolíticas.

Estes estudos ainda revelam que o uso de altos teores de cimento no SCAA em relação as porcentagens convencionais aplicadas ao solo-cimento tradicional elevam o potencial do produto final ao alcance de melhor desempenho, qualidade e durabilidade, o que são características desejáveis para sistemas construtivos mais eficientes.

Paz et al. (2016) estudou SCAA com adição de fibras de resíduos de borrachas de pneu e microfibras de polipropileno. O SCAA apresentou viabilidade de uso com teores de consumo de cimento entre 20% a 25% (em massa de solo) e aditivos superplastificantes na faixa de 0,8 a 1,2%, (em massa de cimento) e seu desempenho foi considerado adequado para aplicação em paredes de vedação em edificações. Ainda de acordo com este estudo, as fibras de resíduos de borrachas de pneu reduziram o desempenho mecânico do produto SCAA, enquanto as microfibras de polipropileno - quando com volume crítico de incorporação ao SCAA de 0,1% - melhoraram as propriedades mecânicas e reduziram a fissuração causada por retração plástica.

Nesse trabalho, estudou-se a viabilidade técnica-construtiva do produto SCAA para fabricação de paredes monolíticas in loco. Para tanto foi necessário avaliar a influência do tipo de fôrma e de mecanização no processo de produção do SCAA, bem como o desempenho físico-mecânico dessas paredes produzidas a partir das técnicas construtivas aplicadas. Também, optou-se por estudar a viabilidade técnica do produto SCAA sem adições e com adição de microfibras de polipropileno com volume crítico de incorporação ao referido material de 0,1%.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Solo

Para a produção do SCAA, foi utilizada terra (solo arenoso) retirada de uma jazida próxima à região metropolitana de Campo Grande - MS. O solo possui coloração vermelha e é composto de areia média (2,6%), areia fina (60,4%), silte (4,4%) e argila (32%). Este solo é classificado como não plástico e apresenta massa específica dos sólidos de 2,681g/cm³.

2.2 Aglomerante e aditivo químico

Para a produção do SCAA, utilizou-se CP II-Z-32, aditivo químico plastificante MasterGlenium® 51 composto por base de Éter Policarboxílico e água de abastecimento público.

2.3 Adição

Utilizou-se microfibras de polipropileno fornecidas pela empresa Neomatex, com especificações de 12 mm de comprimento, diâmetro de 12 µm e massa específica de 0,91 g/cm³.

2.4 Estudo de dosagem

Com o intuito de determinar os traços mais adequados para a fabricação de paredes monolíticas in loco de SCAA, foi feito um estudo de dosagem para definir a melhor proporção de solo, cimento, água e aditivo.

Foram utilizados como ponto de partida os traços unitários 1:5 e 1:4 (cimento:solo, em massa) sem e com adição de microfibras de polipropileno, definidos pela pesquisa de Paz et al. (2016). Para a elaboração de tais traços foi fixado o percentual de 1,2% de aditivo em relação a massa do cimento.

A quantidade de água da mistura fresca foi variada até que se atingisse uma abertura entre 660mm e 750mm no Ensaio de Espalhamento (Slump Flow Test), realizado em conformidade com a NBR 15823 (ABNT, 2010).

Com os traços de referência definidos, foi realizada nova dosagem, sendo os traços acrescidos de microfibras de polipropileno em percentual de massa de 0,1% já que, de acordo com Paz et al. (2016), esse teor melhora as propriedades mecânicas do SCAA e reduz as fissuras por retração plástica.

Após obter os traços considerados mais adequados para a fabricação de paredes monolíticas in loco, estes foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples, em conformidade com a NBR 5739 (ABNT, 2007) e de resistência à tração na flexão e à compressão de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), sendo todos realizados com idade de 7 dias após cura úmida.

Considerando resistência mínima compatíveis com a de um material autoportante em paredes de edificações e consumo mínimo de cimento, optou-se pelo traço 1:5 com e sem adição de microfibras de polipropileno para a confecção dos painéis de paredes monolíticas de SCAA.

Por fim, foram realizados ensaios para determinação das densidades de massas de tais traços no estado fresco e endurecido, em conformidade com NBR 13278 (2005) e NBR 13280 (2005), respectivamente.

2.5 Estudo da viabilidade técnica-construtiva

O processo de moldagem in loco de paredes monolíticas de SCAA consistiu basicamente nas seguintes etapas: montagem das fôrmas metálicas, determinação do volume de material necessário para confecção dos painéis, mistura e homogeneização dos materiais, lançamento do produto SCAA nas fôrmas metálicas, cura úmida e desforma.

As fôrmas utilizadas para a moldagem das paredes eram metálicas e foram fabricadas pela SF fôrmas. Para a montagem, além das placas metálicas e fechamentos foi preciso dispor das peças de encaixe (pinos, cunhas, espaçadores), peças de travamento, martelo e prumo.

As fôrmas podem ser montadas em formato convencional ou em forma de canto, tendo a primeira 20 cm de espessura, 120 cm de largura e 95 cm de altura e a segunda as mesmas espessura e altura, mas uma face de 160 cm de largura e a outra 90 cm, formando o canto (Figura 1a). Contudo, as paredes foram moldadas apenas até a altura de 45 cm (Figuras 1b e 1c).

Figura 1 – Montagem e preenchimento das fôrmas metálicas



(a) Montagem da forma em L



(b) Preenchimento da forma



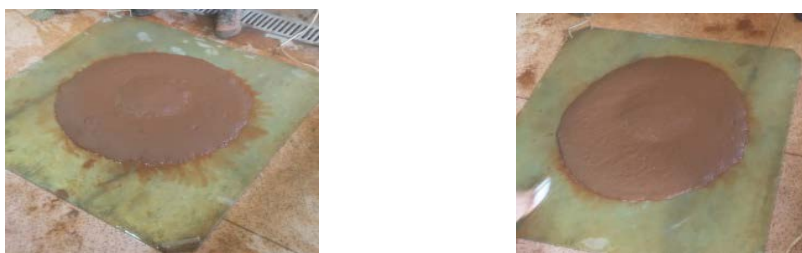
(c) Parede desformada em L

Fonte: Os autores

Para determinar a quantidade necessária de material para confecção das paredes, fez-se uso da densidade de massa do SCAA no estado fresco. Dispondo do volume da forma metálica, foi possível determinar a massa de material necessária para que fosse feito seu preenchimento.

A mistura dos materiais que compõem o produto SCAA foi feita em betoneira estacionária e, assim que terminada, foi submetida ao Slump Flow Test para verificação do espalhamento de consistência fluida.

Figura 2 – Abertura de 700 mm no Slump Flow Test



(a) Espalhamento para SCAA sem adições

(b) Espalhamento para SCAA com adições

Fonte: Os autores

Tendo a mistura alcançado o espalhamento determinado pela NBR 15823 (ABNT, 2010), a mesma foi despejada da betoneira em um carrinho de mão, que foi levado para perto de onde a forma metálica estava montada. O lançamento da mistura na fôrma foi feito através do uso de baldes. O procedimento está ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Lançamento da mistura de SCAA na forma



Fonte: Os autores

As paredes monolíticas de SCAA foram desmoldadas com idade de 2 dias e para a verificação do seu desempenho físico-mecânico foram extraídos 3 painéis, com as seguintes dimensões: 20 cm de espessura, 20 cm de largura e 40 cm de altura, respeitando a relação 1:2 entre espessura e altura, determinada por Milani e Labaki (2012). Por conta dessa recomendação, as paredes não foram preenchidas até sua altura total, mas sim até a altura de 45 cm.

A extração dos painéis foi feita com uso de serra, furadeira e talhadeira, e os mesmos após cura em câmara úmida, foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão com idade de 7 dias. O ensaio de compressão simples nos painéis monolíticos foi realizado conforme disposições da norma NBR 15961-2 (2011), sem avaliação de deformabilidade e eliminando o uso de argamassa de assentamento para preparação do painel.

Figura 4 – Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaio físico-mecânicos

A determinação do teor ótimo de água na mistura SCAA foi feita através do ensaio de espalhamento Slump Flow Test, que forneceu os resultados expressos na Tabela 1 para uma abertura de 700 mm.

Tabela 1 – Traços de solo-cimento autoadensável para abertura de 700 mm

Traço	T3 sem adições	T4 sem adições	T3 com 0,1% polipropileno	T4 com 0,1% polipropileno
Solo (kg)	5	4	5	4
Cimento (kg)	1	1	1	1
Água (L)	1,3	1,02	1,4	1,1
Aditivo (ml)	12,0	12,0	12,1	12,1
Fibra (g)	-	-	6,0	5,0
Relação água/solo	0,26	0,25	0,28	0,27
Relação água /cimento	1,30	1,02	1,40	1,10

Fonte: Os autores

Nota-se que os traços T3 com e sem adições precisam de mais água para atingir o espalhamento ideal devido ao aumento da proporção do material solo no traço.

Com o intuito de determinar um traço de referência e o seu respectivo traço com adição para a moldagem de paredes monolíticas, os quatro traços pré-estabelecidos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão simples e resistência à tração na flexão com idade de 7 dias e cura úmida. As resistências médias alcançadas estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Resistência à compressão simples aos 7 dias

Traço	T3 sem adições	T4 sem adições	T3 com 0,1% polipropileno	T4 com 0,1% polipropileno
Resistência média (MPa)	3,65	7,16	4,68	6,44
Desvio Padrão (MPa)	0,15	0,31	0,21	0,29

Fonte: Os autores

Tabela 3 – Resistência à tração na flexão e à compressão aos 7 dias

Traço	T3 sem adições	T4 sem adições	T3 com 0,1% polipropileno	T4 com 0,1% polipropileno
Resistência média à tração na flexão (MPa)	1,80	3,28	2,33	2,40
Desvio Padrão (MPa)	0,04	0,14	0,15	0,15
Resistência média à compressão (MPa)	4,07	6,94	4,56	7,43
Desvio Padrão (MPa)	0,40	0,13	0,21	0,27

Fonte: Os autores

Na Tabela 2, comparando-se as misturas de SCAA com e sem adições, o traço T3 apresentou melhora de resistência à compressão com a adição das microfibras de polipropileno, enquanto o traço T4 apresentou queda, ainda que em ordem de grandeza não-significativa. O mesmo aconteceu no ensaio de resistência à tração na flexão. Por esse motivo, aliado ao menor consumo de cimento para atendimento de resistência mínima de vedações monolíticas autoportantes, o traço T4 com e sem adições foi excluído e a pesquisa teve continuidade apenas com os traços T3 com e sem adições.

Os traços escolhidos foram submetidos aos ensaios para determinação de suas densidades de massas nos estados fresco e endurecido. Os valores obtidos estão contidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Densidade de massa do material SCAA.

Traço	T3 sem adições	T3 com 0,1% de polipropileno
Densidade de massa no estado fresco (g/cm ³)	1,935	1,960
Densidade de massa no estado endurecido (g/cm ³)	1,636	1,697

Fonte: Os autores

Nota-se na Tabela 4 que o traço T3 com microfibras de polipropileno possui maior densidade de massa que o traço sem adições. A determinação desses valores foi importante para definir a massa necessária do produto SCAA para preenchimento das fôrmas metálicas utilizadas para a moldagem das paredes monolíticas.

3.2 Viabilidade técnica do produto solo-cimento autoadensável

A moldagem das paredes monolíticas teve início com a montagem das fôrmas metálicas, que é simples, rápida e requer a presença de duas

peessoas: uma para segurar as peças e outra para fazer o fechamento das fôrmas. É importante ressaltar que antes da montagem foi aplicado óleo desmoldante nas fôrmas para facilitar o processo de desforma.

O cálculo da massa de material necessário foi feito através da determinação da densidade de massa do SCAA no estado fresco: dispondo da densidade de massa do produto no estado fresco e do volume de material necessário para o preenchimento da forma (obtido após o conhecimento das dimensões das fôrmas metálicas montadas), determinou-se a massa. Assim, foi possível partir para o processo de mistura.

Como o objetivo do presente trabalho é contribuir com soluções para a produção mecânica de vedações de edificações de grande volume e em larga escala, o SCAA foi produzido em betoneira estacionária.

A princípio, adotou-se o procedimento para a produção de concreto, que consistia em: colocar na betoneira todo o solo e 50% da água e misturar por 1 minuto; desligar a betoneira, acrescentar o aglomerante (sem o aditivo) e misturar por 3 minutos; colocar o aditivo juntamente com 100 ml dos 50% de água restantes e misturar por 4 minutos; colocar o restante da água conforme a necessidade; desligar o equipamento por 3 minutos e ligar novamente por 2 minutos.

Contudo, como o produto SCAA não possui agregados graúdos, e sim apenas materiais finos, esse método não foi eficiente, fazendo com que a mistura não ficasse homogênea, isto é, formaram-se torrões que interferiram no bom desempenho do material.

Diante disso, foi estabelecido um novo método de mistura para o produto SCAA, que se mostrou eficiente e colaborou para a sua homogeneidade: inicialmente, coloca-se na betoneira todos os materiais finos (solo, cimento e fibras – se houver) e tampa-se a abertura da betoneira com uma lona/capa para que não haja perda de material; em seguida, liga-se a betoneira por 4 minutos para que seja feita a mistura dos materiais finos; após o tempo estabelecido, desliga-se a betoneira, retira-se a lona e é feita a adição de 50% da água; feito isso, a betoneira é novamente ligada e a água restante é adicionada gradativamente durante 5 minutos, observando-se a homogeneidade do material para que ele não fique aderido ao fundo (a água reservada não deve ser totalmente adicionada nessa fase); decorrido esse tempo, adiciona-se o aditivo com 100ml da água determinada pelo traço; observa-se a fluidez do material e faz-se o ajuste de água. A betoneira pode ser desligada de 5 a 10 minutos após a colocação do aditivo.

Com a mistura pronta, fez-se o Slump Flow Test e verificou-se o espalhamento de 700mm. Em seguida, o produto foi despejado em carrinho de mão, que foi conduzido para o local da moldagem, sendo a mistura lançada na forma com o uso de baldes.

A elevada quantidade de material necessário para preencher a forma levou à uma baixa capacidade da betoneira, sendo preciso executar de 3 a 5 betonadas para que a parede atingisse altura de 45cm, resultando em uma

parede preenchida por camadas. Assim, houve um intervalo de aproximadamente 40 minutos entre o lançamento dessas camadas, que compreendeu o tempo necessário para o lançamento da mistura na forma, o tempo de limpeza e secagem da betoneira e o tempo de produção da próxima mistura a ser lançada.

É importante ressaltar que a mistura permaneceu autoadensável durante o processo de lançamento de cada betonada, que durou de 10 a 15 minutos, sendo que sua fluidez não foi mais observada após o seu autoadensamento na forma.

O processo de desforma das paredes foi feito com 2 dias de idade e não apresentou dificuldades, isto é, as fôrmas foram facilmente desmontadas, e devido ao uso de óleo desmoldante, as placas metálicas soltaram facilmente da parede. Não houve deslocamento e não foram observadas fissuras durante o processo de desforma. Contudo, devido à demora entre o lançamento das camadas, foi possível notar na sua superfície o desenho (marcação) das camadas, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Paredes monolítica de SCAA



(a) SCAA sem adições



(b) SCAA com adições

Fonte: Os autores

Essa marcação aparente das camadas nos painéis de SCAA não interferiu no desempenho mecânico dos mesmos. Isso porque após a desmoldagem

foram retirados painéis das paredes para ensaio de resistência à compressão aos 7 dias e durante a extração, o material permaneceu homogêneo, não desintegrou-se onde havia interface entre camadas e apresentou valores de resistência à compressão simples próximas aos encontrados na Tabela 2.

Retirados os painéis, os mesmos foram levados à máquina Poli Corte para que tivessem suas dimensões ajustadas e retificadas e assim, poderem ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial com idade de 7 dias. Os resultados desses ensaios estão dispostos na Tabela 6:

Tabela 5 – Resistência à compressão axial com idade de 7 dias

Traço	T3 sem adições	T3 com 0,1% de polipropileno
Resistência à compressão (MPa)	4,14	4,44
Desvio Padrão (MPa)	0,02	0,03

Fonte: Os autores

Na tabela 5 nota-se que o traço T3 de SCAA com microfibras de polipropileno apresentou resistência à compressão melhor que o T3 sem adição. Tal resultado confirma que a estrutura tem comportamento semelhante ao dos corpos de prova anteriormente estudados.

Além disso, a resistência alcançada é compatível com a de um material autoportante, já que a resistência à compressão axial mínima de 1,0 MPa, aos 7 dias de idade, é exigida pela NBR 13553 (2012) para paredes monolíticas de solo-cimento compactado sem função estrutural, tornando o produto SCAA viável mecanicamente para fabricação de paredes monolíticas moldadas in loco.

4 CONCLUSÕES

A dosagem do SCAA na proporção 1:5 (cimento:solo, em massa) mostrou viabilidade técnica de uso para fabricação de paredes monolíticas moldadas in loco, sendo que o processo de preparação da mistura em betoneira estacionária e lançamento manual sem adensamento foi considerado eficaz, já que o SCAA no estado fresco apresentou-se fluido, homogêneo, sem segregação; e o SCAA no estado endurecido alcançou resistências mecânicas compatíveis para construção de paredes monolíticas.

Embora tenha sido possível produzir paredes monolíticas de boa qualidade com apenas uma betoneira de baixa capacidade fazendo as misturas e com o lançamento feito através de baldes, esse processo não pode ser considerado eficiente para a produção em larga escala.

Recomenda-se, portanto, melhoras no processo de mecanização da produção, como por exemplo, fazer a mistura do produto SCAA em betoneiras com capacidade de misturar maiores quantidades de material, bem como executar o lançamento mecanicamente, através de

bombeamento para evitar interrupções de preenchimento das fôrmas e possíveis formação de interfaces entre essas camadas interrompidas.

Apesar desses estudos preliminares apontarem o bom comportamento mecânico do SCAA, ressalta-se a necessidade de uma avaliação mais aprofundada a respeito da resistência a compressão excêntrica em paredes e sua deformabilidade para conclusão definitiva do potencial de aplicação do SCAA como paredes autoportantes.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13553**: Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 15823**: Concreto auto-adensável – Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15961-2**: Alvenaria estrutural Blocos de concreto - Parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011.

BERTÉ, S. D. D.; ALCANTARA, M. A. M. Estudo do comportamento do solo-cimento auto-adensável. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 2, p. 37-52, 2013.

MILANI, A. P. S.; BARBOZA, C. S. Uso de aditivo plastificante em solo-cimento plástico para fabricação de paredes monolíticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012. **Anais...** Juiz de Fora: ANTAC, 2012. CD-ROM.

MILANI, A. P. S.; LABAKI, L. C. Physical, mechanical, and performance of cement-stabilized rammed earth-rice husk ash walls. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 24, n. 6, p. 775-83, 2012.

PAZ, J.G.P.; DIAS, F.G.R.; MILANI, A.P. Uso de Fibras Artificiais em Compósitos à Base de Solo-Cimento Autoadensável para Aplicação em Paredes de Edificações. In: Amazon & Pacific Green Materials Congress and Sustainable Construction Materials LAT-RILEM Conference, 6. 2016. **Anais...** Cali, Colombia: LatRilem, 2016. CD-ROM.