



Inovação no aproveitamento de resíduos cerâmicos da construção civil triturados com aplicação em tijolo maciço entulho-solo-cimento

**Cristiano Seger¹, Antônio Vanderlei dos Santos², Sílvio Maurício Beck⁴,
Bóris Casanova Sokolovicz⁴, Ayane Rodrigues de Souza⁵**

¹ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.
(cristiano_seger@yahoo.com.br)

² Universidade Federal de Santa Maria. (vandao@urisan.tche.br)

³ Universidade Federal de Santa Maria. (projesa@ibest.com.br)

⁴ Universidade Federal de Santa Maria. (bsokolovicz@yahoo.com.br)

⁵ Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.
(rodrigues_ane@hotmail.com)

Resumo

O entulho é um material que causa prejuízos para grandes construtoras devido ao custo com remoção e depósito em local adequado. Atualmente busca-se encontrar alguma solução que torne o entulho útil para a construção civil. Para tanto, realizou-se estudos visando a realização de tijolos entulho-solo-cimento. A análise dos resultados a serem obtidos devem atender as exigências da NBR 8492/1984 que trata do tijolo solo-cimento, devido à sua similaridade com o tijolo entulho-solo-cimento, não devendo ser inferior a 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais. Adotou-se determinada norma do tijolo solo-cimento tendo em vista que esta tem os materiais mais semelhantes empregados em sua execução. Inicialmente foram determinados 4 traços baseados no referencial teórico, a partir dos resultados destes determinou-se um traço adequado utilizando cimento CP II da marca Votoran, areia proveniente de rio, solo e água, sendo na proporção 1:2:4:3 (cimento:areia:entulho:solo) e realizados os procedimentos estabelecidos durante desenvolvimento do presente trabalho. Obtidos os valores de resistência à compressão e absorção, calculou-se a média dos mesmos para verificar se a resistência estava de acordo com a norma, e também para avaliar se as condições do material estavam de acordo com o necessário. O tijolo entulho-solo-cimento final obteve uma média de resistência à compressão igual a 2,35 Megapascal e uma absorção média de 13,18%, logo, este produto estará de acordo com o estabelecido na NBR 8492, que trata da determinação da resistência à compressão e absorção da água do tijolo solo cimento.

Palavras-chave: Tijolo Entulho-Solo-Cimento. Compressão. Absorção.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

Innovation in the use of ceramic waste crushed with application in rubble-soil-cement solid brick

Abstract

The rubble is a material which causes damage to major construction due to the cost of removal and storage in a suitable place. Currently we seek to find a solution that makes the useful rubble for construction. To this end, it carried out studies for the realization of rubble-soil-cement bricks. Analysis of the results to be obtained must meet the requirements of ISO 8492/1984 dealing with soil-cement brick due to its similarity to the brick rubble-soil-cement



and should not be less than 2.0 MPa for average values and 1.7 MPa for individual values. Given standard soil-cement brick it was adopted considering that these are the most similar materials used in its execution. Initially were determined four lines based on the theoretical framework, after artir the results of these determined an appropriate trace using cement CP II Votoran brand, sand from the river, soil and water, and in a 1: 2: 4: 3 (cement : sand: rubble: soil) and performed the procedures established for development of this work. Obtained values of resistance to compression and absorption, the average thereof was calculated to verify whether the resistance was in accord with the norm, and also for evaluating whether the media conditions were according to the need. The brick rubble-soil-cement end scores a compressive strength equal to 2.35 Megapascal and an average absorption of 13.18%, so this product will conform to the provisions of ISO 8492, which deals with the determination of compressive strength and absorption of soil cement brick water.

Key words: Rubble-soil-cement bricks. Compression. Absorption.

Theme Area: Solid Waste.

1 Introdução

A ideia principal do presente trabalho é baseada na análise experimental para uma futura implantação de um tijolo entulho-solo-cimento auxiliando na área ambiental e econômica. Para a realização do presente artigo serão utilizados como materiais constituintes apenas resíduos cerâmicos, areia, solo, cimento e água. Outros resíduos como plástico, madeira dentre outros serão excluídos devido a estes não possuírem propriedades materiais que condizem com a consistência e produto final que é exigida para um tijolo de acordo com o objetivado. Devido ao fato deste ser um produto inovador serão utilizadas as normas técnicas do tijolo solo-cimento como base para o desenvolvimento do produto. Partindo do princípio de que estas tem as características mais similares com o produto que está sendo proposto. Para fins ambientais deve-se utilizar a resolução 307 do Conama como base.

O presente trabalho irá desenvolver o tijolo-entulho-solo-cimento a fim de reduzir o impacto ambiental causado pelo entulho. Para alcançar determinado objetivo serão testadas quatro diferentes dosagens de materiais selecionados com o propósito de descobrir os melhores resultados de acordo com a NBR 8491.

2 Tijolos entulho-solo-cimento

O tijolo entulho-solo-cimento é definido como um tijolo composto por entulho (componentes cerâmicos), solo, cimento, areia e água.

A ideia inicial do presente trabalho é simples: determinar um traço (misturando solo, cimento, areia, entulho e água) para o desenvolvimento do tijolo entulho-solo-cimento que atenda as normas do tijolo solo-cimento. Devido à similaridade do produto, o tijolo entulho-solo-cimento terá suas normas baseadas de acordo com as normas do tijolo solo-cimento.

3 Metodologia

O presente capítulo tem por objetivo estabelecer as diretrizes do planejamento do estudo a ser realizado. O trabalho será desenvolvido em forma de pesquisa aplicada, sendo esta caracterizada pelo seu interesse prático, ou seja, que os resultados serão aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade.



Segundo Turroni (2012) apud Appolinário (2006), a pesquisa básica estaria mais ligada ao incremento do conhecimento científico, sem objetivos comerciais, ao passo que a pesquisa aplicada seria suscitada por objetivos comerciais através do desenvolvimento de novos processos ou produtos orientados para as necessidades do mercado. Com o constante e significativo aumento de demandas envolvendo a reutilização de entulho será desenvolvida uma pesquisa baseada na necessidade e demanda do mercado visando a fabricação do tijolo entulho-solo-cimento.

3.1 Atividade 1

Visando a produção e o desenvolvimento do tijolo entulho-solo-cimento devem ser utilizados os materiais e aparatos disponíveis no laboratório da URI.

Serão definidos 4 traços com diferentes quantidades de materiais visando a obtenção do melhor resultado referente aos ensaios de compressão e absorção seguindo a NBR 8492, que trata da determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Definidos os 4 traços, os materiais a serem utilizados deverão ser preparados. Os entulhos provenientes de resíduos cerâmicos deverão ser coletados em alguma construção sob supervisão e autorização do responsável técnico da obra. Após coletados os resíduos cerâmicos, deverão ser triturados no triturador disponível no laboratório da URI. O solo deverá ser peneirado nas peneiras com aberturas de 4,75 e 2,38 mm. Será utilizado o cimento Votoran CP-II-Z-32 visando a sua grande resistência aos sulfatos contidos no solo. A areia será proveniente de rio.

Logo, determinados os 4 traços, os materiais serão dosados conforme os mesmos e juntados em 4 recipientes separados, um para cada traço. A quantidade irá variar, contanto que seja possível realizar no mínimo 5 amostras de tijolo para cada traço. Sendo 3 amostras destinadas ao ensaio de compressão e outras duas ao ensaio de absorção. Após separadas as quantidades de materiais, deve-se adicionar água conforme a análise da umidade ótima de cada amostra separadamente, misturando os materiais na betoneira ao mesmo tempo. Depois de preparada a massa, colocá-la na prensa manual e prensar. Prensado os tijolos, estes serão retirados da prensa manual, colocados sobre alguma placa e armazenados na sala de cura durante o período de 7 dias. Após os 7 dias, estará terminada a cura dos tijolos e estes serão retirados da câmara úmida. Por fim, deverão ser realizados os procedimentos experimentais descritos na NBR 8491. Para o ensaio de absorção o tijolo será mantido durante 24 horas em estufa à temperatura de 110°C, retirado da mesma e pesado, após submerso em água por 24 horas e, após este período, será pesado novamente. Com estes resultados será possível encontrar os valores de absorção referentes aos tijolos. Já para obter os valores de compressão, os tijolos terão de ser cortados ao meio, deverá ser realizada uma argamassa com traço 1:1 (cimento:areia) com a única função de ligar os materiais. Essa argamassa é passada no meio dos dois pedaços cortados posicionados verticalmente um sobre o outro e na parte inferior do tijolo, no vão vazio que o tijolo tem devido à prensa. No dia seguinte, deve ser preparada a mesma argamassa para passar na parte superior, dando assim a uniformidade necessária para realizar o ensaio de compressão. Após mais um dia de cura dessa argamassa que terá apenas a função de ser ligante, será possível realizar os rompimentos dos tijolos conforme a NBR 8492.

3.2 Atividade 2

Desenvolver o tijolo entulho-solo-cimento da amostra com os melhores resultados novamente e realizar alterações caso necessário. Os procedimentos experimentais para execução, ensaios de compressão e de absorção do tijolo entulho-solo-cimento serão realizados da mesma forma que foi descrito na atividade 1.



4 Desenvolvimento e análise dos resultados

4.1 Atividade 1 – Traços estipulados para dosagem do tijolo entulho-solo-cimento a partir do referencial teórico

Na tabela 1 é possível verificar os traços estipulados para a dosagem do tijolo entulho-solo-cimento partindo do referencial teórico citado anteriormente utilizando um traço padrão entre 1 para 12 até 1 para 15 (uma parte de cimento para outras de areia, entulho e solo). Logo, a quantidade dos materiais areia, entulho e solo presentes nas amostras quando somadas deverão estar entre as quantidades de 12 e 15 partes. Sendo a quantidade dos materiais areia, entulho e solo distribuídos aleatoriamente para fins experimentais. A água deverá ser utilizada até o ponto em que a mistura esteja com umidade ótima, conforme ensaio exemplificado na metodologia do presente trabalho.

Tabela 1 – Traços estipulados para a dosagem do tijolo entulho-solo-cimento partindo do referencial teórico

Amostras	Dosagem do tijolo entulho-solo-cimento			
	Materiais componentes			
	Cimento	Areia	Entulho	Solo
Amostra 1	1	5	5	5
Amostra 2	1	4	6	5
Amostra 3	1	4	4	4
Amostra 4	1	6	3	4

Fonte: Elaboração do autor, 2015.

4.2 Procedimentos Experimentais

Visando a adequação da metodologia com o procedimento experimental e os recursos disponíveis para a execução do tijolo entulho-solo-cimento, alguns fatores foram alterados durante sua execução.

Após preparação dos materiais, as medidas foram executadas conforme os traços. Seguindo, estes materiais foram amassados com auxílio da betoneira até o ponto em que a massa estava homogênea. A água foi sendo adicionada aos poucos até o ponto da umidade ótima. Na tabela 2 é possível verificar a quantidade de água utilizada para cada amostra.

Tabela 2 – Quantidade de água utilizada nas amostras da atividade 1 dos tijolos partindo da umidade ótima de cada material

	Quantidade de água utilizada no ensaio
Amostra 1	2700 ML
Amostra 2	3600 ML
Amostra 3	2400 ML
Amostra 4	2700 ML

Fonte: Elaboração do autor, 2015.

Obtida a massa de cada amostra, foram executados os tijolos utilizando a prensa manual. Para cada amostra foram feitos 5 tijolos, 3 destinados ao ensaio de compressão e outras duas amostras destinadas ao ensaio de absorção do tijolo.



As dimensões dos tijolos variaram apenas na altura do tijolo. A largura e o comprimento foram conforme as medidas da forma da prensa, com largura de 10,5 cm, comprimento de 22,5 cm e altura variando entre 6,5 e 7,5 cm. O valor da altura foi muito difícil de obter maior precisão devido ao fato da compactação do material do tijolo entulho-solo-cimento variar conforme a umidade ótima do material. Também é possível verificar na tabela 4 que as amostras obtiveram pequenas variações nos seus respectivos tamanhos. Este fato decorre devido a pequenos detalhes no momento do corte do tijolo ou até mesmo nos períodos de cura em que houve pequena perda de material. Como essa diferença é mínima, não há nenhum problema que afete a qualidade do produto ou que altere seus resultados, tendo em vista que todos os resultados consideraram a área de cada tijolo.

Obtidos os tijolos, estes foram posicionados sobre placas e armazenados na câmara úmida durante 7 dias para o seu período de cura. Após a obtenção do produto final, foram realizados os ensaios em conformidade à NBR 8492/1984 que trata da determinação da resistência à compressão e da absorção d'água referente ao tijolo solo-cimento, adaptado para o tijolo entulho-solo-cimento no presente trabalho.

4.2.1 Resultados do Ensaio de Absorção da Atividade 1

Após os procedimentos experimentais para os testes de absorção, foram obtidos os valores referentes à absorção dos tijolos apresentados na tabela 3. Observa-se na tabela 3 que todas as amostras obtiveram uma absorção menor que 20%. Logo, todas estão adequadas conforme o pré-estabelecido para os resultados de absorção.

Tabela 3 – Cálculo da porcentagem de absorção dos tijolos da atividade 1

Nºs	CPs	1 – Peso após secagem a 110°C (g.)	2 – Peso após 24 horas imerso (g.)	3 – Diferença 2-1 =	A % (3/1)* 100%
1 A		2867,1	3195,1	328	11,44
1 B		2603	2888,6	285,6	10,97
2 A		3373,6	3642,5	268,9	7,97
2 B		3185	3469,5	284,5	8,93
3 A		3246,7	3528,8	282,1	8,68
3 B		3238,9	3549,7	310,8	9,59
4 A		2869,4	3146,7	277,3	9,66
4 B		2845,3	3167,9	322,3	11,32

Fonte: Elaboração do autor, 2015.



4.2.2 Resultados do Ensaio de Compressão da Atividade 1

Na tabela 4 é possível verificar os resultados dos ensaios de compressão referentes às 4 amostras. A amostra 1 obteve uma resistência média a compressão de 0,83 Megapascal, já as amostras 2, 3 e 4 obtiveram as médias de 1,25 Megapascal, 0,93 Megapascal e 0,95 Megapascal. Portanto, a melhor média dentre as 4 amostras considerada foi a média referente à amostra 2, com 1,25 Megapascal. Entretanto esta amostra é menor do que a resistência de 2,0 Megapascal estabelecida na NBR 8493, sendo inadequada a sua utilização.

Tabela 4 – Resultados da resistência à compressão das amostras aos 7 dias da atividade 1.

Corpos de Prova	Área Média (mm ²)	Resistência à Compressão (MPa)
CP 1 (Amostra 1)	13340	0,67
CP 2 (Amostra 1)	13455	0,93
CP 3 (Amostra 1)	13570	0,90
CP 4 (Amostra 2)	13340	1,20
CP 5 (Amostra 2)	13225	1,31
CP 6 (Amostra 2)	13455	1,24
CP 7 (Amostra 3)	13455	1,07
CP 8 (Amostra 3)	13455	0,62
CP 9 (Amostra 3)	13455	1,10
CP 10 (Amostra 4)	13570	0,89
CP 11 (Amostra 4)	13455	1,22
CP 12 (Amostra 4)	13398	0,74

Fonte: Elaboração do autor, 2015.

4.3 Atividade 2 – Escolha e Alteração do Traço

Conforme as restrições legais impostas, o tijolo entulho-solo-cimento deve seguir a NBR 8493 referente ao solo cimento na qual deve conferir um valor médio de resistência à compressão igual a 2,0 MPa, de modo que nenhum dos valores individuais esteja abaixo de 1,7 MPa, com idade mínima de 7 dias. A absorção de água não deve ser superior a 20%, nem apresentar valores individuais superiores a 22%. Sendo os ensaios realizados conforme o descrito na norma.

O traço com os melhores resultados de absorvidade e resistência à compressão foi o referente à amostra 2. Este foi o traço escolhido para ser refeito, portanto deve ser adicionada uma quantidade maior de cimento, visando que a resistência mínima à compressão conforme a NBR 8491 deve ser 2 MPa. Logo, o traço referente à amostra 2 que antes era 1:4:6:5 (cimento:areia:entulho:solo), teve a quantidade de areia, entulho e solo reduzida proporcionalmente. Portanto, o novo traço será:

1:2:4:3 (cimento:areia:entulho:solo)

Assim espera-se obter resultados coerentes com a resistência mínima necessária além de seguir os padrões mínimos necessários para a absorção.



4.3.1 Resultados do Ensaio de Absorção da Atividade 2

É possível observar na tabela 5 que as amostras obtiveram uma absorvidade média de 13,18%, logo, todas estas estão adequadas conforme a restrição que impõem no máximo 20% de absorção, descrito na NBR 8493.

Tabela 5 – Cálculo da porcentagem de absorção dos tijolos da atividade 2.

Nºs CPs	1 – Peso após secagem a 110°C (g.)	2 – Peso após 24 horas imerso (g.)	3 – Diferença 2-1 =	A % (3/1)*100
1	1333,3	1499,3	166	12,45
2	1426,3	1602,2	175,6	12,31
3	1591,9	1813,5	221,6	13,92
4	1558,1	1766,1	208	13,34
5	2415,4	2751,2	335,8	13,90

Fonte: Elaboração do autor, 2015.

4.3.2 Resultados do Ensaio de Compressão da Atividade 2

Verifica-se na tabela 6, que a média da resistência à compressão do produto da atividade 2 foi 2,35 Megapascal, ou seja, está de acordo com o a NBR 8493, sendo maior que 2 Megapascal.

Tabela 6 – Resultados da resistência à compressão aos 7 dias das amostras da atividade 2.

Corpos de Prova	Área Média (mm²)	Resistência Compressão(MPa)
CP 1	13450	2,05
CP 2	13450	2,44
CP 3	13450	2,58

Fonte: Elaboração do autor, 2015.

5 Conclusões

Os ensaios das propriedades do solo mostraram-se satisfatórios com relação ao solo utilizado no experimento. Já os resultados obtidos na atividade 1, na qual foram analisadas 4 diferentes amostras, mostraram resultados não aceitáveis no requisito referente à resistência a compressão. A melhor média de resistência à compressão apresentada foi exibida na amostra 2, na qual foi obtido 1,25 MPa. Já os resultados apresentados nos ensaios de absorção da atividade 1 mostraram que as 4 amostras estavam abaixo de 20%, de acordo com o estabelecido em norma. Logo, foi utilizada a amostra 2 devido ao melhor resultado para ser utilizada como base ao novo traço estabelecido.

Na atividade 2 foi reduzida a quantidade de material consideravelmente e, mantida a mesma quantidade de cimento, foi possível obter uma melhor resistência. Na amostra refeita com o traço: 1:2:4:3 (cimento:areia:entulho:solo), obteve-se uma resistência média à



compressão de 2,35 MPa. A absorção média foi de 13,18%. Logo, o produto está de acordo com o previsto na NBR 8491.

Deve haver um aprofundamento referente à orçamentos, viabilidade financeira, materiais disponíveis na região, impostos, prensa dentre outros importantes fatores. Empreiteiras devem fazer uma análise de custo-benefício no momento de implantar a produção do tijolo entulho-solo-cimento, visando os custos atuais com remoção e locação dos entulhos.

Partindo do presente artigo, foi possível concluir que os resultados obtidos estão de acordo com normas de produtos similares, tornando o tijolo entulho-solo-cimento uma ótima opção para grandes empreiteiras quando realizado um planejamento prévio e análise de custos e benefícios para a aplicação do mesmo.

Referências

ABCP. Associação Brasileira de Cimento *Portland*. **Cimento Portland CP II (NBR 11578)**. 2015.

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3.ed. revi. e trad. Cengage Learning, 2015.

_____. **NBR 10832**: Fabricação de tijolos maciços de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 8491**: Tijolo maciço de solo-cimento – Especificação. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento - determinação da resistência à compressão e da absorção d'água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

PECORIELLO, Luiz Antonio; BARROS, José Maria de Camargo. **Alvenaria de tijolos de solo-cimento**. 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/87/artigo285631-1.aspx>>. Acessado em 15 maio 2015.

PECORIELLO. L.A. **Recomendações práticas para uso do tijolo furado de solo-cimento na produção de alvenaria**. Dissertação (Mestrado), IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2003.

Resolução CONAMA N° 307/2002.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acessado em 28/05/2015.

TURRIONI *apud* APPOLINÁRIO, F(2006). **Metodologia de pesquisa e engenharia de produção**. 2012. Disponível em: <http://www.carlosmello.unifei.edu.br/Disciplinas/Mestrado/PCM-10/Apostila-Mestrado/Apostila_Metodologia_Completa_2012.pdf>. Acessado em 23/05/2015.