

ESTUDO DOS TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO QUANTO À SUA ADEQUAÇÃO ÀS NORMAS VIGENTES

Miller Aparecido Grande Marques*

Profa. Esp. Luana Ferreira Mendes**

RESUMO

Este artigo apresenta um breve estudo sobre os tijolos de solo-cimento quanto à sua adequação às NBR's - Normas Brasileiras, com o objetivo de verificar as condições em que é encontrado no mercado. Foram observadas as principais recomendações quanto à sua qualidade, como sua matéria-prima, processo de fabricação e ensaios de resistência à compressão e absorção de água, que permitem avaliar duas importantes características dos tijolos: sua capacidade de resistir às cargas aplicadas e a sua relação com a água, que influencia desde à sua pega com a argamassa de assentamento até à sua durabilidade. O artigo também demonstra a relevância das NBR's como diretrizes na obtenção dos melhores resultados.

Palavras-chave: Tijolos. Solo-cimento. Normas Brasileiras.

1 INTRODUÇÃO

Os tijolos modulares de solo-cimento, blocos de terra comprimidos - BTC ou como são popularmente conhecidos, os tijolos ecológicos, são materiais produzidos a partir da prensagem do solo, cimento e água. Não necessitam de fornos de secagem, dependendo apenas de um processo de cura para atingirem suas condições de uso. Por isso, transmitem a ideia de ecologicamente corretos, menos danosos ao meio ambiente em relação a outros de mesma função. Apresentam também matéria-prima principal abundante, barata e fácil de ser obtida, com técnica de assentamento aparentemente simples, como um jogo de encaixe, dentre outras características que podem torná-lo uma boa opção para a alvenaria de vedação.

Segundo o PBQP-H (2018), o índice de não conformidade dos tijolos cerâmicos gira em torno de 51,6%, sendo um dos mais utilizados na alvenaria de vedação e estar entre os 24 itens considerados como a cesta básica de materiais de construção, controlados pelos

* Miller Aparecido Grande Marques, aluno do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas. E-mail: miller.marques@alunos.unis.edu.br

** Orientadora: Profa. Esp. Luana Ferreira Mendes, Engenheira civil, docente no Centro Universitário do Sul de Minas.

Programas Setoriais da Qualidade – PSQs. Já os tijolos de solo-cimento, que sequer aparecem nesta lista, não são ainda tão empregados como os cerâmicos ou os blocos de concreto. Por conta desse pouco emprego, podem carecer de um controle de qualidade mais rigoroso, deixando passar falhas de seu processo de fabricação que podem comprometer a sua utilização e denegrir a sua imagem, sendo associadas a características negativas inerentes ao material.

Infelizmente, o tijolo de solo-cimento sofre com o preconceito em relação a outras alvenarias. Para Fiais e Souza (2017), sua baixa popularidade é o fator principal para o desinteresse sobre o material. Porém, estudos a seu respeito podem ajudar a reverter esse quadro, contribuindo para sua credibilidade e expansão no mercado.

As NBR'S - Normas Brasileiras buscam padronizar e assegurar a qualidade de diferentes tipos de materiais e serviços. São elaboradas por uma comissão de especialistas e, apesar de não atuarem como leis, exceto quando há alguma que a obrigue, tem uma importância considerável na segurança de um produto. É possível colocar no mercado um material livre dessas regulamentações, porém as normas asseguram características desejáveis a produtos e serviços (ABNT, 2014).

Visando verificar a qualidade dos tijolos de solo-cimento e contribuir para a sua divulgação, esta pesquisa teve como objetivo analisar a sua adequação às recomendações das NBR's vigentes. Por ser fabricado em todo o território nacional, optou-se por comparar os resultados obtidos em estudos de diferentes localidades. Foram examinados principalmente quanto aos requisitos estabelecidos nas NBR'S 8491 – Tijolo de solo-cimento - Requisitos (2012), 8492 - Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio (2012) e 10833 – Fabricação de tijolo de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento (2012) quanto à seus materiais, dimensões, aspectos, processo de fabricação, resistência à compressão e absorção de água. Os resultados foram comparados aos parâmetros estabelecidos nestas normas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tijolo de solo-cimento

Segundo definição da ABNT NBR 8491 (2012), o tijolo de solo-cimento é um “tijolo cujo volume não é inferior a 85% de seu volume total aparente, constituído de mistura homogênea de solo, cimento Portland e água, e eventualmente aditivos que permitam atender às exigências desta norma.”

Quanto ao conceito de ecologicamente corretos, recebem o nome de tijolo-ecológico por permitirem em sua composição o uso de materiais renováveis e degradáveis, que misturados ao cimento e água e submetidos à compactação e cura, geram peças padronizadas e de alta resistência (ANITECO, 2018). Sua fabricação não necessita também de fornos de secagem, gerando uma grande economia energética e evitando a emissão de gases na atmosfera, assim como a destruição das florestas para a obtenção de lenha.

No Brasil, o solo-cimento está presente desde meados de 1936, com a regulamentação da sua aplicação pela ABCP (BAUER, 2005). Já as primeiras construções realizadas datam dos anos de 1945, com a construção de uma casa de bombas em Santarém – PA (THOMAZ, 1979), em 1948, com a construção de casas residenciais em uma fazenda inglesa de Petrópolis - RJ e em 1953, na construção de um hospital de combate à tuberculose em Manaus – AM, hoje conhecido como Hospital Geral Adriano Jorge (SILVA, 1991). O bom estado de conservação destas obras ao longo do tempo atestam a qualidade do material e de sua técnica de execução.

Para Magalhães apud Oliveira (2010), “o tijolo ecológico pode ser aplicado em qualquer tipo de obra desde que sejam elaborados os projetos de engenharia e que tenha acompanhamento técnico.” Ao passo que as pesquisas se intensificam nas Universidades, acredita-se que os tijolos de solo-cimento sejam capazes de suportar também a alvenaria estrutural, devido às elevadas taxas de resistência à compressão alcançadas.

Outra vantagem que chama a atenção é a relação custo-benefício no final da obra. Isoladamente, o tijolo de solo-cimento apresenta um valor superior aos demais. Porém, avaliando-se o todo, há uma redução de até 40% dos gastos se bem executada em habitações populares, podendo ser utilizada em alvenarias de até três pavimentos (MAGALHÃES, 2010).

Dentre as inúmeras características favoráveis a sua utilização, a de principal importância certamente é o seu benefício ambiental. A construção civil tem pesado encargo sobre a natureza, cerca de 50% dos recursos naturais extraídos são destinados a indústria de materiais de construção (CBCS, 2014). A sucessão por tecnologias renováveis é necessária, principalmente em áreas tão críticas de intervenção. No entanto, o objetivo da sustentabilidade não é simplesmente manter a natureza intocável (TEODORO, 2011). Por ora, o que se busca são alternativas menos prejudiciais e que possam solucionar as necessidades com menor ou nenhum efeito colateral.

2.2 Composição dos tijolos

Os tijolos de solo-cimento possuem basicamente três elementos em sua composição: solo, cimento e água. Podem também conter aditivos que permitam alterar sua coloração. As características dos principais componentes serão apresentadas abaixo.

2.2.1 Solo

O solo compõe a maior parte dos tijolos. Pode aparecer entre 90 e 93% de sua composição, variando conforme o tipo de traço escolhido. Antes de ser utilizado, deve estar com pouca umidade, destorroado, peneirado e livre de matéria orgânica.

Segundo a ABCP (2000), o melhor solo é aquele que necessita de menor quantidade de cimento para atingir a sua estabilidade. Por esse motivo, os solos arenosos e siltsos são preferíveis em relação aos argilosos. Para Soma (2012), devem ter algo entre 45 e 50% de teor de areia. A argila é necessária na mistura, porém em pequena quantidade apenas para a liga suficiente a desmoldagem do tijolo da prensa e manuseio.

Conforme o BT-111 (ABCP, 2000), as características dos solos mais adequadas a fabricação dos tijolos de solo-cimento são as seguintes:

- 100% de material passando na peneira ABNT n° 4 (4,8 mm);
- 10% a 50% de material passando na peneira ABNT n° 200 (0,075 mm);
- Limite de liquidez $\leq 45\%$; e
- Limite de plasticidade $\leq 18\%$.

Os solos com matéria orgânica em sua composição, geralmente de coloração escura, devem ser evitados. A presença de compostos orgânicos prejudica a hidratação do cimento, e

por consequência a estabilização do solo no tijolo. Segundo Antunes (2008), o excesso de matéria orgânica, seja por partes vegetais ou húmus, retarda as reações que promovem a pega e o endurecimento do cimento Portland.

Para atingir as condições ideais de uso, é possível misturar diferentes tipos de solos, aproveitar resíduos da construção civil triturados e até mesmo do próprio tijolo. Outros compostos, como plásticos, borracha, papel e vidro também podem ser incorporados à mistura (RIBEIRO, 2013).

A escolha dos solos, sempre que possível, deve ser realizada através de ensaios de laboratório. Conforme o BT - 111 (ABCP, 2000), são eles:

- Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização (ABNT NBR 6457, 2016);
- Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos (ABNT NBR 6458, 2016);
- Determinação do Limite de Liquidez (ABNT NBR 6459, 2016);
- Determinação do Limite de Plasticidade (ABNT NBR 7180, 2016); e
- Análise Granulométrica (ABNT NBR 7181, 2016).

Para realização destes ensaios, é necessário uma amostra de 10 kg de solo.

2.2.2 Cimento

O cimento é o responsável por adicionar ao solo as características mínimas necessárias de estabilidade e resistência, através do surgimento de vínculos de coesão quando em contato com os grãos (ANTUNES, 2008). Segundo a FUNTAC (1999), quanto maior a sua quantidade maior será a resistência do tijolo fabricado. Porém, é necessário observar que seja suficiente apenas para a resistência necessária sem que eleve demasiadamente os custos de fabricação.

Conforme o BT-111 (ABCP, 2000) e a ABNT NBR 10833 (2013), os cimentos que podem ser utilizados devem atender a uma das seguintes especificações:

- ABNT NBR 5732 - Cimento Portland Comum;
- ABNT NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;
- ABNT NBR 5735 - Cimento Portland de Alto-Forno;
- ABNT NBR 5736 - Cimento Portland Pozolânico; e
- ABNT NBR 11578 - Cimento Portland Composto;

O mais recomendado é cimento Portland comum (CP I), pelo seu menor custo e resultados de resistência semelhantes aos demais (SANTIAGO, 2001).

2.2.3 Água

A água está presente na mistura e cura dos tijolos. Deve ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento; presumindo-se adequadas as águas potáveis (ABCP BT-111, 2000).

2.3 Processo de fabricação

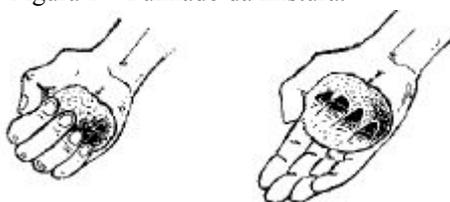
2.3.1 Dosagem

O traço é a proporção entre o solo e o cimento na composição dos tijolos, é determinado através de procedimento descrito na ABNT NBR 10833 (2013):

A mistura deve ser realizada juntando-se primeiramente os materiais secos, misturando-os até a completa homogeneização constatada pela coloração uniforme. Logo após é adicionada a água até que a mistura atinja a umidade desejada. Recomenda-se um novo peneiramento para melhor homogeneização da água no solo-cimento, antes da prensagem. O ponto da mistura pode ser determinado pelo seguinte teste simples e prático:

- a) Com um punhado da mistura (Figura 1), apertar energicamente entre os dedos, devendo o bolo resultante apresentar as marcas.

Figura 1 – Punhado da mistura.



Fonte: BT-111, 2000.

- b) Deixar o bolo cair de uma altura de aproximadamente um metro sobre uma superfície dura, devendo esfarelar-se pelo impacto. Caso isso ocorra, este é o ponto ideal, caso não, a mistura está muito úmida.

A mistura pode ser feita a mão, por betoneira ou equipamento semelhante. Porém, há certa dificuldade em sua retirada após o preparo, sendo preferencialmente feita à mão. A superfície de preparo deve estar limpa e se possível cimentada. A quantidade de material

preparado deve ter volume suficiente para uma hora de funcionamento da prensa (ABCP BT-111, 2000).

2.3.2 Procedimentos de dosagem

São preparados três traços de solo-cimento. Por exemplo, 1:10 (90% de solo e 10% de cimento), 1:12 (92% de solo e 8% de cimento) e 1:14 (93% de solo e 7% de cimento) (ABCP, BT-111, 2000). De cada traço, são moldados no mínimo 20 tijolos na própria prensa e curados conforme realizado normalmente. São retirados aleatoriamente dez unidades de cada amostra e realizados os ensaios de resistência à compressão e absorção de água descritos na ABNT NBR 8492 (2012), e o traço mais econômico que atenda aos requisitos físicos-mecânicos prescritos nas especificações da ABNT NBR 8491 (2012) será o escolhido (ABNT NBR 10833, 2012).

Já para a ABCP (2000), para produção diária superior a 10000 tijolos, deve-se preparar 6 amostras de cada traço (1:10, 1:12 e 1:14) que serão utilizadas na realização dos testes (3 para compressão e 3 para absorção de água). Caso o solo atenda aos requisitos de granulometria e limites descritos anteriormente o traço volumétrico básico poderá ser o de 1:10. Freire (2003) e Soma (2012) afirmam que o traço 1:12 vem sendo utilizado em obras de pequeno porte.

2.3.3 Compactação do tijolo

A compactação é o processo de redução dos vazios existentes entre as partículas de solo e cimento, realizada através da prensagem. Uma compactação adequada da mistura é essencial para a obtenção de um solo-cimento satisfatório, pois permite que o material atinja um determinado peso específico, ou densidade aparente, que lhe confira resistência mecânica apropriada para um determinado fim (GRANDE, 2003).

Pecoriello (2003) considera que a compactação é a fase mais importante do processo de produção, onde as propriedades individuais da matéria-prima perdem importância para as propriedades do tijolo. Porém, não há determinações específicas quanto a força mínima necessária a compressão dos tijolos. Para Ferraz apud Pecoriello (2003), o acréscimo de energia na compactação não significa necessariamente incrementos proporcionais na resistência mecânica dos tijolos.

Antes da prensagem, é necessário regular o equipamento para que as dimensões e o adensamento desejado sejam alcançados. Os “tijolos-teste” resultantes dessa regulagem podem ser destorroados e juntados novamente à mistura. Quando o ponto ideal é encontrado, o material é acrescentado e prensado, retirando-se em seguida os tijolos para o local de cura cuidadosamente. São colocados à sombra e empilhados sobre uma superfície plana até a altura de 1,5 metros. Nos casos dos solos muito arenosos e que não permitam o empilhamento logo após a prensagem, pode-se deixá-los descansar por um dia antes.

2.3.4 Cura

A cura tem a função de permitir que as reações químicas necessárias ao endurecimento dos tijolos aconteça. Através dela evita-se que a evaporação prematura da água prejudique a hidratação do cimento. É iniciada logo após seis horas da prensagem, e por um período de sete dias, os tijolos devem ser mantidos constantemente úmidos, até atingir a resistência necessária (ABCP BT-111, 2000). Para alguns autores, este processo deve ser iniciado oito horas após a prensagem, sendo os tijolos empilhados à sombra normalmente e regados diariamente (PECORIELLO, 2004)

A não utilização de qualquer processo que evite a secagem rápida dos tijolos pode acarretar num decréscimo de 40% da resistência à compressão simples do tijolo, conforme pesquisas realizadas pelo CEPED (1984) e CEBRACE (1981) (LIMA, 2006).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os principais procedimentos estão descritos nas ABNT NBR's 6457 - Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (2016); 6459 Solo – Determinação do limite de liquidez (2016); 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade (2016); 8491 - Tijolo de solo-cimento — Requisitos (2012); 8492 - Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio (2012) e 10833 - Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento (2013). Optou-se por analisar apenas os tijolos de solo-cimento do tipo vazados, pela sua aparente vantagem na confecção de colunas grauteadas e passagem de instalações hidráulicas e elétricas, além do menor peso próprio em relação aos do tipo maciço.

De início, seria realizado um estudo de caso com os tijolos fabricados na cidade de Piranguinho - MG, onde os métodos definidos por pesquisa bibliográfica seriam aplicados a uma pesquisa exploratória. Porém, em decorrência da quarentena determinada a todas as instituições de ensino para combate a pandemia do Coronavírus (COVID-19) e fechamento de todos os laboratórios, os resultados tiveram de ser comparados a partir das obras de três autores:

ANGST, Eliana Reis. **Análise comparativa entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo - cimento**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, [S. l.], 2013.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, [S. l.], 2003.

PRESA, Marcello Bastos. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo cimento**. Monografia de graduação. 41 p. Universidade de Brasília - UnB, 2011.

As técnicas utilizadas pelos autores envolveram principalmente ensaios de laboratório, pesquisa documental e acompanhamento do processo de fabricação. Os resultados foram organizados dentro dos fatores mais relevantes a serem observados: matéria-prima, limites do solo (liquidez e plasticidade), processo de fabricação, aspectos físicos e dimensionais, resistência à compressão e absorção de água.

Em complemento, puderam ser realizadas as verificações físicas e dimensionais dos tijolos obtidos em Piranguinho - MG, conforme os procedimentos descritos na ABNT NBR 8491 (2012).

3.1 Materiais

3.1.1 Solo

Quanto ao solo, cabe cumprir os parâmetros da ABNT NBR 10833 (2013), que são:

- 100% de material passando na peneira n° 4 de malha 4,75 mm;
- 10% a 50% de material passando na peneira n° 200 de 75 µm (0,075 mm);
- Limite de liquidez $\leq 45\%$; e
- Limite de plasticidade $\leq 18\%$.

O limite de liquidez - LL e o limite de plasticidade - LP são utilizados para o cálculo do índice de plasticidade - IP ($IP = LL - LP$), que indica um teor de umidade onde o solo se mantém plástico sem que esteja pastoso ou quebradiço demais que não permita sua

modelagem. Segundo a norma, o solo ideal para fabricação dos tijolos é aquele que se mantém moldável entre 18% e 45% de umidade. Este teor tem relação também com a umidade ideal de hidratação do cimento e a compactação da mistura após a prensagem, que segundo Proctor (1933 apud GRANDE, 2003), um teor excessivo de água acaba por absorver parte da energia de compactação, afastando as moléculas e prejudicando a sua resistência.

3.1.2 Cimento e água

O cimento deve estar classificado dentro de algum dos tipos encontrados no BT - 111 (ABCP, 2000) ou ABNT NBR 10833 (2013), e em condições ideais de armazenagem e prazo de validade. A água deve estar livre de impurezas nocivas à hidratação do cimento.

3.2 Processo de fabricação

Quanto ao processo de fabricação, cabe observar se os procedimentos adotados podem influenciar nos resultados de resistência e capacidade de absorção de água dos tijolos. É importante considerar o traço utilizado, modo de mistura dos materiais, determinação da umidade correta, quantidade máxima de mistura preparada, compactação adequada e método de cura.

3.3 Análise física e dimensional

As dimensões de cada face são determinadas pela média de três medidas, duas nas extremidades e uma no centro dos tijolos com precisão de 0,5 mm, conforme estabelecido na ABNT NBR 8491 (2012). São classificados em dois tipos conforme as suas dimensões (Figura 2).

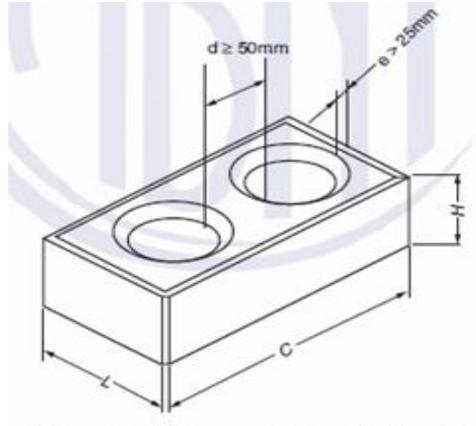
Figura 2 - Tipos e dimensões nominais.

Dimensões em milímetros			
Tipos	Comprimento	Largura	Altura
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: ABNT NBR 8491, 2012.

Os furos devem obedecer distâncias mínimas entre si e suas laterais conforme a figura 3.

Figura 3 - Tijolo vazado de solo-cimento.



Fonte: ABNT NBR 8491, 2012.

3.4 Ensaios

Os ensaios devem ser realizados com uma amostra de dez tijolos retirados aleatoriamente de um lote de 10000. Sete são destinados ao ensaio de resistência à compressão (A1 a A7) e três ao ensaio de absorção de água (A8 a A10) (Figura 4). Todos os procedimentos de preparo dos corpos de prova e execução dos ensaios constam na ABNT NBR 8492 (2012).

Figura 4 - Amostras.



Fonte: o autor.

3.4.1 Resistência à compressão

As dimensões das faces de trabalho devem ser determinadas com exatidão de 1 mm. A aplicação da carga deve ser uniforme e à razão de 500 N/s (50 kgf/s). As amostras não devem apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias (ABNT NBR 8492, 2012).

3.4.2 Absorção de água

A amostra ensaiada não deve apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20 % nem valores individuais superiores a 22 %, com idade mínima de sete dias (ABNT NBR 8492, 2012).

4 RESULTADOS

Conforme explicitado em Materiais e Métodos, os resultados foram observados à partir de tijolos fabricados nas cidades de Piranguinho -MG, São Carlos - SP (GRANDE, 2003), Brasília - DF (PRESA, 2011) e Alegrete - RS (ANGST, 2013). O tijolo analisado por Angst é do tipo maciço.

4.1 Materiais

4.1.1 Solo

O solo utilizado em São Carlos - SP é retirado na propriedade da Mineração Itaporanga LTDA. Os resultados da sua peneiração foram de 100% de material passando nas peneiras nº 4 (4,75 mm) e 10% na peneira nº 200 (0,075 mm), estando no limite mínimo de material que deveria passar na peneira nº 200. Grande (2003) relatou que quanto aos limites de liquidez e plasticidade, os resultados foram de não-plásticos.

Presa (2011) relata a utilização de um solo predominantemente arenoso, com cerca de 69% de areia, coletado em uma área de escavação chamada de Setor Noroeste da cidade de Brasília – DF. Quanto ao material passante nas peneiras nº 4 (4,75 mm) e nº 200 (0,075 mm), foram encontrados respectivamente 100% e 34,2%. Os resultados para os limites de liquidez (LL = 26%) e de plasticidade (LP = 19%) se mostraram satisfatórios, demonstrando boa coesão entre as partículas e moldagem do tijolo com relativa eficiência.

Em Alegrete - RS, Angst (2013) cita que o solo utilizado tem características da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo terra vermelha (argilosa) e necessitando adição de areia e pó de brita para diminuição da quantidade de cimento necessária. A extração ocorre em locais distintos, e não são declarados os resultados de peneiração e nem quanto aos limites de Atterberg.

Apenas nas pesquisas realizadas por Grande (2003) e Presa (2011) foram possíveis avaliar os resultados satisfatórios da peneiração do solo, e somente Presa declarou ter

encontrado um solo com os limites de liquidez e plasticidade dentro dos parâmetros estabelecidos.

4.1.2 Cimento

Na pesquisa realizada por Grande (2003) foram utilizados dois tipos de cimento Portland, o cimento Portland Composto 32 MPa (CP II E 32) e o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI Plus), utilizado em caráter experimental. Serão considerados apenas os resultados do CP II E 32 tendo em vista sua maior adequação econômica e disponibilidade na região de São Carlos – SP. Outra característica desejável do CP E II 32 é seu desenvolvimento mais lento de resistência, permitindo avaliar melhor os tijolos em diferentes idades.

Presa (2011) relatou a utilização do cimento Portland Pozolânico 32 MPa (CP II Z-32) em Brasília – DF, também pela sua acessibilidade no mercado da região. Para as amostras analisadas em Alegrete - RS, não foi citado o tipo de cimento utilizado, apenas mencionado por Angst (2013) a recomendação quanto aos tipos Portland compostos (CP II), por serem mais facilmente encontrados no mercado. Todos os tipos declarados estão enquadrados dentro daqueles recomendados pelo BT-111 (ABCP, 2000) e ABNT NBR 10833 (2013).

Pelos testes realizados por Grande (2003), foi notado que o teor de cimento é um dos fatores determinantes na relação de aumento da resistência mecânica dos tijolos. Foi verificado que quanto maior o teor de cimento, maior a resistência à compressão. O tipo de cimento também tem influência na resistência à compressão e absorção de água dos tijolos. Apesar da diferença de idade entre as amostras, ensaios realizados com o cimento CP V ARI Plus se mostraram superiores aos realizados com o CP II E 32, conforme pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados para cada tipo de cimento.

Resultados para cada tipo de cimento			
Cimento	Idade	Resistência à compressão (Mpa)	Absorção de água (%)
CP II E 32	91	5,62	10,4
CP V ARI Plus	28	6,91	8,9

Fonte: GRANDE, 2003

Em condições ideais de cura, observou-se que tijolos produzidos com CP II E 32 devem ser utilizados aos 28 dias de idade, pois sua resistência à compressão atinge a

estabilidade por volta dos 63 dias. Os resultados de Grande também apontaram um aspecto importante: os traços com quantidade inferior de cimento podem ser adotados, desde que se tomem os cuidados de não serem comercializados antes de atingir a idade com a resistência mínima necessária.

4.1.3 Água

Apenas Presa (2011) menciona a origem da água utilizada, sendo a de um córrego chamado de Capão da Erva, próximo ao local onde os tijolos são fabricados. Os detalhes quanto às suas características não são informados, mas sua qualidade de hidratação poderá ser avaliada pelos seus resultados nos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Além das características da água, outro fator determinante é a sua porcentagem na proporção da mistura, tão importante quanto a de cimento para os resultados da resistência à compressão e absorção de água. Grande (2003) observou em todos os traços avaliados que a quantidade insuficiente de água em relação ao teor ótimo ocasionou uma perda significativa da resistência à compressão do material. Quanto maior a proporção de cimento de um traço e menor a sua hidratação em relação a umidade ótima, maior é a perda de resistência encontrada. Nos traços com menor teor de cimento (1:10 e 1:12), ocorreu uma perda de cerca 25% em relação aos traços com umidade ótima de compactação. Já para o traço com maior teor (1:7), a perda chegou a cerca de 65%, acarretando em resistências comparáveis às obtidas em traços com menor consumo de cimento. Neste caso, a umidade foi incapaz de hidratar grande parcela do cimento, fazendo com que as partes mal hidratadas atuassem como o agregado na mistura.

4.2 Processo de fabricação

Os procedimentos relatados por Grande (2003), Presa (2011) e Angst (2013) quanto a fabricação dos tijolos são semelhantes. Basicamente, o solo é seco ao ar até a umidade higroscópica para melhor mistura e destorroamento. Em seguida, conforme o traço utilizado, o solo e o cimento são misturados secos em betoneira ou manualmente até a completa homogeneização, e só então é adicionada a água. Presa relata que para o traço utilizado é adicionada a umidade ideal de compactação de 18% do volume total, constatada através de ensaio de compactação (ABNT NBR 7182, 2016). A mistura é então colocada no triturador para eliminar possíveis torrões formados e em seguida levada até o funil da prensa de

compactação. Presa relata que é adotado o procedimento recomendado por Pitta e Nascimento (1983), deixando-se a mistura de solo e cimento em repouso por aproximadamente 10 minutos para que os solos mais finos tenham melhores resultados na compactação e nas propriedades físico-mecânicas dos tijolos. Grande relata o uso de uma prensa manual da marca SAHARA, com tensão de fabricação entre 2,0 MPa e 3,0 MPa. Já Presa relata a utilização de uma prensa hidráulica com poder de compressão de até 6 toneladas. Angst (2013) cita apenas a utilização de uma prensa hidráulica. Quanto aos equipamentos utilizados, vale ressaltar que não há relação de proporcionalidade entre a força de compactação e o ganho de resistência (FERRAZ apud PECORIELLO, 2003).

Presa (2011) relata que após serem moldados é aferida a sua medida com paquímetro durante todo o processo de fabricação, para verificar a sua constância quanto à altura, estabelecida 65 mm. Grande (2003) relata que é tomado o cuidado de utilização da mistura pronta em até no máximo 1 hora (ABCP, BT-111, 2000).

Quanto aos traços utilizados, Grande (2003) utilizou do traço inicialmente sugerido no Manual técnico da empresa Sahara – Tecnologia, Máquinas e Equipamentos LTDA, de 1:10 (cimento:solo) realizando também duas variações para a análise de um traço rico em cimento (1:7) e outro pobre (1:13). O traço de 1:13 acabou por ser substituído pelo o traço 1:12, devido ao solo bastante arenoso e baixo teor de cimento do traço, não permitindo que fosse desmoldado. Já Presa (2011) optou pelo traço 1:8 (cimento: solo). Angst (2013) explica que os traços utilizados podem sofrer variação devido aos vários locais de retirada do solo, não explicitando suas proporções, mas que no seu caso os ingredientes e as quantidades não mudam (solo, água, cimento, areia e pó de brita).

Na cura, é relatado por todos os autores a obediência ao período de 7 dias de sucessivas molhagens iniciando-se após 6 horas da moldagem. Presa (2011) relata também que são cobertos com lona para favorecer a hidratação do cimento. A correção no processo de cura é tão importante que estima-se uma redução da ordem de 40% na resistência dos tijolos caso não haja um processo que evite a secagem rápida dos tijolos (PRESA apud CEPED, 2011).

Apenas Presa (2011) relata a altura das pilhas após a prensagem, em pallets de madeira e na altura máxima de 3 fiadas por dia, sendo recomendado de até no máximo 1,5 metros (ABNT NBR 10833, 2012).

4.3 Análise física e dimensional

As dimensões encontradas estão relacionadas na Tabela 2:

Tabela 2 – Dimensões dos tijolos.

Análise dimensional				
Local	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Tipo *
Piranguinho - MG	74	149	298,5	-
São Carlos - SP	50	100	200	A
Brasília - DF	65	125	245	-
Alegrete - RS	58	101	212	-

* Conforme ABNT NBR 8491 (2012).

Fonte: o autor, GRANDE (2003), PRESA (2011), ANGST (2013).

As amostras obtidas do fabricante de Piranguinho – MG puderam ter seus aspectos e dimensões avaliadas conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 8491 (2012). As dimensões de suas faces e as distâncias dos furos constam nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Análise dimensional das amostras de Piranguinho - MG.

Análise Dimensional														
Tijolo	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)					
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média		
A1	298	298	298	298	149	149,5	149	149,1667	74	74	74	74		
A2	299	299	299	299	149	149	149	149	74	74	74	74		
A3	298	298,5	298	298,1667	149,5	149	149	149,1667	74	74	74	74		
A4	299	299	299	299	149	149	149	149	74	74	74	74		
A5	298	298	298	298	149	149	149	149	74	74	74	74		
A6	298	298	298	298	149	149	149	149	74	74	74	74		
A7	299	298,5	299	298,8333	149	149	149	149	74	74	74	74		
A8	298	298	298	298	149	149	149	149	74	74	74	74		
A9	298,5	298,5	298,5	298,5	149	149,5	149,5	149,3333	74	74	74	74		
A10	298	298	298	298	149	149	149	149	74	74	74	74		
Comprimento médio:				298,35	Largura média:				149,0667	Altura média:				74

*Obs.: as medidas 1, 2 e 3 são as laterais e central da face. Dimensões devem considerar exatidão de 0,5 mm (ABNT NBR 8492, 2012).

Fonte: o autor.

Pode-se observar que a tolerância máxima de até 1 mm de variação entre as medidas das dimensões foram cumpridas (ABNT NBR 8491, 2012).

Tabela 4 – Análise dos furos das amostras de Piranguinho - MG.

Análise dos furos							
Tijolo	Distância entre os furos (mm)	Distância das bordas (mm)					
		Furo 1			Furo 2		
A1	72	37	36	37	37	36	37
A2	72	36	36	37	36	36	37
A3	72	36	35,5	37	36	36	36,5
A4	72	36	36	36,5	37	35	36,5
A5	72	36	36	36	37	35	36
A6	72	36	36	36,5	36	36,5	36
A7	72	36,5	36,5	36,5	36	35,5	37
A8	71,5	36,5	35,5	36,5	36,5	37	36
A9	71,5	36	35	37	36	36	36
A10	71	36,5	36	36	36	36	36

*Obs.: distâncias mínimas recomendadas de 50 mm entre os furos e de 25 mm de suas bordas (ABNT NBR 8491, 2012).

Fonte: o autor.

Quanto ao seu aspecto, apresentaram arestas vivas e chanfradas (ABNT NBR 8491, 2012). Somente em uma das amostras foi notado uma pequena fissura na parte superior próxima a um de seus furos (Figura 5). Não houveram grandes considerações sobre o estado físico dos tijolos avaliados por Grande (2003), Presa (2011) e Angst (2013).

Figura 5 - Fissura em uma das amostras.



Fonte: o autor.

Apenas os tijolos fabricados em São Carlos – SP se enquadraram em um dos tipos apresentados pela norma ABNT NBR 8491 (2012). Porém, não há nenhuma restrição quanto a isso, desde que tenham altura inferior à sua largura, outras dimensões são permitidas. Todos os tijolos analisados puderam ser considerados satisfatórios quanto às suas dimensões. Em relação aos furos, apenas as amostras obtidas em Piranguinho - MG foram avaliadas, obtendo resultados dentro do esperado conforme a ABNT NBR 8491 (2012). Grande (2003) apenas relatou que as especificações do equipamento de prensagem utilizado produzem tijolos com furos de 50 mm de diâmetro.

Observando-se as alturas dos tijolos, é possível considerar desnecessárias prensas com duplo sentido de compressão, recomendadas a tijolos com altura entre 80 e 200 mm (ABNT NBR 10833, 2013).

Presa (2011) observou que a largura e o comprimento dos tijolos não variam por conta dos limites laterais da forma. Somente a altura pode sofrer variação conforme a força de prensagem aplicada, existindo uma regulagem na própria máquina para o ajuste da altura desejada.

4.4 Resistência à compressão

Para os ensaios de resistência à compressão e absorção de água, buscou-se considerar somente os resultados dos tijolos com no mínimo 14 dias, idade mínima de comercialização permitida (ABNT NBR 8491, 2012). Os valores encontrados estão relacionados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistência à compressão.

Resistência à compressão (Mpa)			
Corpos de prova	Local		
	Alegrete – RS (ND)	São Carlos – SP (14 dias)	Brasília – DF (28 dias)
1	3,78	1,9	2,04
2	3,88	3,81	1,74
3	5,23	1,75	1,77
4	4,03	-	2,26
5	5,17	-	2,91
6	4,37	-	2,49
7	3,03	-	-
8	4,55	-	-
9	4,32	-	-
10	4,55	-	-
Média	4,29	2,49	2,55
* Valores individuais mínimos permitidos de 1,7 MPa e medianos de 2,0 MPa (ABNT NBR 8492, 2012). ND: Não declarado.			

Fontes: GRANDE (2003), PRESA (2011), ANGST (2013).

Grande (2003) realizou ensaios de resistência à compressão em tijolos nas seguintes idades: 3, 7, 14, 28, 63, 91 e 120 dias após a moldagem. Sendo possível comprovar o ganho de resistência ao longo do tempo.

Angst (2013) explicou que as variações nos resultados dos ensaios de resistência à compressão encontrados em Alegrete – RS são consequência da mistura manual dos

componentes, que acaba por não distribuir o cimento da melhor maneira, e por conta dos tipos diferentes de solo utilizados, provocando alterações na resistência do traço.

4.5 Absorção de água

Quanto à absorção de água, todos os traços analisados ficaram dentro dos limites indicados na ABNT NBR 8491 (2012), conforme demonstrado na Tabela 6. Os ensaios realizados por Grande, nas idades de 7, 28 e 91 dias, demonstraram também a relação proporcional entre o ganho de resistência e diminuição de absorção de água com o aumento da idade.

Tabela 6 – Resultados de absorção de água.

Absorção de água (%)			
Corpos de prova	Local		
	Alegrete – RS (ND)	São Carlos – SP (28 dias)	Brasília – DF (28 dias)
1	10,55	13,3	17,2
2	11,53	11	16,3
3	10,52	14	16,1
4	-	-	15,2
5	-	-	16,1
6	-	-	16,7
Média	10,87	12,77	16,27
* Valores individuais devem ser inferiores à 22%, e valores médios inferiores à 20% (ABNT NBR 8492, 2012). ND: Não declarado.			

Fontes: GRANDE (2003), PRESA (2011) e ANGST (2013).

Angst (2013) explica que a alta absorção tende a retirar a água da argamassa e prejudicar a hidratação do cimento, diminuindo a resistência da argamassa de assentamento e gerando fissuras por retração. No entanto, baixa absorção impede a penetração da argamassa nos poros dos tijolos, prejudicando sua aderência.

5 CONCLUSÃO

Através do estudo realizado pôde-se concluir que a correção nos métodos de fabricação, quantidades e qualidade dos materiais empregados é fundamental para o bom desempenho dos tijolos. As NBR's se mostram essenciais nesse sentido, pois ditam as diretrizes a serem seguidas na obtenção dos melhores resultados.

Para o solo, em apenas um dos casos foram comprovados todos os requisitos necessários quanto a granulometria e os limites de liquidez e plasticidade. Isto comprova que nem sempre o solo utilizado é o ideal para a fabricação, mas que é possível ainda corrigi-lo para obtenção de bons níveis de modelagem e economia de cimento.

Já para o cimento, todos os autores citaram a utilização de algum dos tipos pré-determinados na ABNT NBR 10833 (2013), optando por aquele melhor aplicável quanto ao custo-benefício e disponibilidade na região. Foi observado também que quanto maior o teor de cimento, maior a resistência encontrada, e que esta relação está intimamente associada ao teor de umidade da mistura. Quanto mais próximo este teor do seu ótimo, melhor será o resultado de resistência, absorção e durabilidade dos tijolos. A hidratação deve ser suficiente para que as reações químicas do cimento ocorram, ou este acaba por perder a função de estabilizante e assumir apenas a posição de agregado, como o solo. Foi notado também que há uma evolução gradual na resistência dos tijolos e redução na absorção de água ao longo do tempo, até atingirem uma idade estável, conforme o tipo do cimento utilizado. Isso permite a fabricação dos tijolos com o tipo mais viável na região, ou utilização de traços com menor quantidade de cimento desde que respeitadas as idades de resistência e absorção mínima estabelecida para comercialização.

Quanto a análise física e dimensional, mesmo que variando em cada região, os tijolos se mostraram adequados, dentro dos parâmetros previstos. Nada há a declarar também contra os procedimentos de cura relatados, estando dentro dos estabelecidos.

Dos fatos relatados, conclui-se que na maior parte dos casos observados os tijolos de solo-cimento se adequam as recomendações das normas, se revelando um material simples e adaptável. A água do córrego, os diferentes tipos de solo e mistura possíveis, os variados equipamentos e detalhes no processo de fabricação se mostraram justificados nos bons resultados dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água, sempre acima dos esperados. O preconceito que o tijolo sofre acaba sendo infundado, pois tem qualidade satisfatória, não sendo um material apenas ambientalmente viável, como também técnico, representando uma boa opção para a alvenaria de vedação.

STUDY OF SOIL-CEMENT BRICKS AS TO THEIR FITNESS TO THE CURRENT STANDARDS

ABSTRACT

This article presents a brief study on the soil-cement bricks regarding their adequacy to the NBR's - Brazilian Norms, in order to verify the conditions in which it is found in the market. The main recommendations regarding its quality were observed, such as its raw material, manufacturing process and tests of resistance to compression and water absorption, which allow the evaluation of two important characteristics of the bricks: their ability to resist the applied loads and their relationship with water, which influences from its grip with the laying mortar to its durability. The article also demonstrates the relevance of NBR's as guidelines for obtaining the best results.

Keywords: Bricks. Soil-cement. Brazilian Standards.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGST, Eliana Reis. **Análise comparativa entre tijolos cerâmicos e tijolos de solo - cimento**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, [S. l.], 2013.

ANITECO - Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico. **O Tijolo Ecológico**. Disponível em: <<https://www.aniteco.org.br/o-tijolo-ecologico/>>. Acesso em: 29 de fevereiro de 2020.

ANTUNES, Isabella Silva. **Aplicação de solo-cimento em habitações populares**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Sergipe (UFS), 2008.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Boletim Técnico: Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais – BT-111**. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: tijolo de solo-cimento - Requisitos**. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio**. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: Fabricações de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade.** 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normalização.** Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO TIJOLO ECOLÓGICO. **O tijolo ecológico.** Disponível em: <https://www.aniteco.org.br/>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção – volume 1.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005a. 471 f. **Materiais de construção – volume 2.** 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005b. 488 p.

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/>. Acesso em: 12 de outubro de 2019.

CONSELHO INTERNACIONAL DA CONSTRUÇÃO. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/latinamericancib/>. Acesso em: 2 de outubro de 2019.

FERRAZ, R. L. ; BELINCANTA, A. ; GUTIERREZ, N. H. M. **Estudo comparativo de alguns métodos de dosagem de misturas solo-cimento.** In: I Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá, 2000, Maringá PR. ENTECA 2000.

FERNANDES, R. DE O. **Tijolo ecológico: Vantagens e desvantagens.** Mapa da Obra. Votorantim Cimentos., 20 dez. 2018.

FIAIS, Bruna Barbosa; DE SOUZA, Daniel Sarto. **Construção sustentável com tijolo ecológico.** Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 2, n. 1, 2017.

FREIRE, W. Jorge; BERALDO, A. Ludovico. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** 331 p. Editora Unicamp: Campinas-SP, 2003.

FUNTAC. **Cartilha para produção de tijolo de solo-cimento.** Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, 1999. Não paginado.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, [S. l.], 2003.

LIMA, T. V. **Estudo da produção de blocos de solo-cimento com matérias-primas no núcleo urbano da Cidade de Campos dos Goytacazes – RJ.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006, 107p.

MAGALHÃES, Luciana Nunes de. **Análise Comparativa dos blocos de solo-cimento, de concreto e cerâmicos utilizados na construção civil do sudeste brasileiro**. 2010. Artigo (Mestrado em Construção Civil) - Universidade FUMEC, [S. l.], 2010.

PECORIELLO, L. A. BARROS, José Maria. **Alvenaria de tijolos de solo-cimento**. Técnica, São Paulo: PINI, 2004 n.87, p.58-61, Junho;

PRESA, Marcello Bastos. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo cimento**. Monografia de graduação. 41 p. Universidade de Brasília - UnB, 2011.

RIBEIRO, Lincoln Ronyere Cavalcante. **Processo de produção e viabilidade do tijolo modular de solo-cimento na construção civil no estado do RN**. 2013. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2013.

SANTIAGO, C. C. **O solo como material de construção**. Salvador: EDUFBA, 2001, 2 ed.;

SILVA, M. R. **Materiais de Construção**. São Paulo: PINI, 1991, 2 ed.

SOMA, Wagner Kazuo M.. **Solo- Cimento**. Instituto de ciências naturais e tecnológicas: Departamento de Agronomia. Universidade do Estado do Mato Grosso - UNEMAT, 2012.

TEODORO, N. F. Godinho. **Contribuição para a sustentabilidade na construção civil: reciclagem e reutilização de materiais**. 91 p. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil- Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

THOMAZ, C.A.. **Paredes monolíticas de solo-cimento: Hospital Adriano Jorge**. Publicações ABCP, São Paulo, 1979.

WEBER, Maria Salette de Carvalho et al. **PBQP-H – Habitat. Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H**, [s. l.], 6 dez. 2018.