

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS TIJOLOS
ECOLÓGICOS PRODUZIDOS NA REGIÃO DE FEIRA DE SANTANA**

AMANDA MOREIRA DA SILVA

Cruz das Almas

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS TIJOLOS
ECOLÓGICOS PRODUZIDOS NA REGIÃO DE FEIRA DE SANTANA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal do
Recôncavo da Bahia como parte do
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Exatas e
Tecnológicas.

Orientador: Prof. M. Sc. Cleidson Carneiro Guimarães

AMANDA MOREIRA DA SILVA

Cruz das Almas
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS TIJOLOS
ECOLÓGICOS PRODUZIDOS NA REGIÃO DE FEIRA DE SANTANA**

Aprovada em: ___/ ___/ ___/

EXAMINADORES:

Orientador Prof. M. Sc. Cleidson Carneiro Guimarães

Examinador 1 Prof. Dr. Sc. José Humberto Teixeira Santos

Examinador 2 Prof. Maselia Fernandes de Magalhães

AMANDA MOREIRA DA SILVA

Cruz das Almas

2016

Dedico este trabalho aos meus pais, Sueli e Gerson, por todo apoio e esforço ao longo de todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida e por todas as oportunidades concedidas até aqui. A minha mãe Sueli pela luta e esforço em me garantir uma boa educação, pelo incentivo e as palavras carinhosas nos momentos difíceis, pelos ensinamentos e exemplo de mulher que és, sem você eu não teria chegado até aqui. A meu pai Gerson pelo carinho e força, e por sempre acreditar que eu poderia ir além. Ao meu namorado Mateus pelo companheirismo, cumplicidade e força, e por me ajudar a manter a calma diante dos momentos de dificuldade. A todos os meus familiares que me incentivaram e apoiaram.

Aos meus amigos, pelo incentivo, pelas alegrias vivenciadas, pelo conhecimento dividido, o apoio de vocês teve fundamental importância no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Cleidson, pela paciência, conselhos e ensinamentos, e dedicação em me orientar.

Agradeço também a empresa Barro Duro por nos ceder o material para o desenvolvimento deste trabalho, pela atenção e pelas informações que nos foram dadas.

Agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho se tornasse possível.

RESUMO

A indústria da construção civil tem grande participação na economia nacional, entretanto é um dos setores que mais consome recursos naturais, além de ser responsável pela maior geração de resíduos de toda a sociedade. Em decorrência desses fatores, surge a necessidade de implementar novos métodos e tecnologias mais sustentáveis e eficientes no âmbito da construção civil. Nessa perspectiva, o tijolo de solo-cimento, que é composto por solo estabilizado com cimento e água, torna-se uma excelente opção, uma vez que este tipo de tijolo utiliza como matéria-prima principal um dos materiais mais abundantes da terra, o solo, possuindo fácil processo de fabricação, e dispensando o processo de queima em sua produção, evitando assim a emissão de dióxido de carbono (CO₂), além de possuir resistência igual ou superior aos tijolos convencionais e possibilitar a racionalização do processo construtivo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades dos tijolos ecológicos produzidos na região de Feira de Santana, através da realização de ensaios de caracterização do solo utilizado na composição dos tijolos, a fim de avaliar se o solo utilizado atende as características normalizadas, e de ensaios de resistência à compressão e absorção de água nos tijolos, para avaliar se os traços empregados atualmente atendem aos parâmetros normativos. Os resultados indicam que maiores teores de cimento na mistura aumentam a resistência à compressão axial e diminuem absorção d'água dos tijolos, entretanto, evidencia-se que o fator que contribui predominantemente para o ganho de resistência é a granulometria do solo utilizado, e este deve ser bem graduado e dentro dos requisitos normalizados.

Palavras-chave: solo-cimento; tijolo de solo-cimento; tijolo ecológico.

ABSTRACT

The civil construction industry has great participation in the national economy, however is one of the sectors that more consume natural resources, as well as being responsible for the largest generation of waste of the whole society. Due to these, there is the need to implement new methods and more sustainable and efficient technologies in constructions. In this perspective the soil-cement brick, which is composed of soil stabilized with cement and water, it is an excellent option, since this type of brick used as the main raw material one of the most abundant earth materials soil, having easy manufacturing process and averting the firing process for their production, thus avoiding the carbon dioxide (CO_2), besides having resistance equal to or higher than the conventional bricks and enable the streamline of the production process. Thus, the objective of this study is to evaluate the properties of ecological bricks produced in the region of Feira de Santana, by conducting soil characterization tests used in the composition of the bricks in order to assess whether the soil used meets the standard characteristics comprehension and resistance tests and water absorption in the bricks, to assess whether the traits currently employed meet the normative parameters. The results indicate that higher cement content in the mixture increases withstand to axial compression and decrease water absorption of bricks, however, shows that the factor which contributes predominantly to the gain resistance is granulometry soil used, and this it should be well graded and within the standard requirements.

Keywords: soil-cement; brick soil-cement; ecologic brick.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. Solo- Cimento.....	12
3.1.1. Definição e Histórico.....	12
3.1.2. Materiais Componentes do Solo-Cimento	13
3.1.2.1. Solo	13
3.1.2.2. Cimento	15
3.1.3. Compactação e Umidade ótima	19
3.1.4. Tijolos de Solo-Cimento	20
3.1.4.1. Processo de Produção dos Tijolos.....	21
3.1.4.2. Viabilidade de Utilização dos Tijolos	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6. CONCLUSÃO	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem participação significativa na economia mundial, e vem crescendo exponencialmente com o tempo, o que causa certa preocupação com relação ao meio ambiente, pois se apresenta como uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais. De acordo com John (2004), estima-se que a construção civil utiliza algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. Hoje, a indústria da construção civil é o maior setor consumidor de recursos naturais. Como se já não fosse impacto suficiente todo o sobrecarregamento dos recursos naturais que a construção civil causa com a sua extração, é ainda, responsável pela maior geração de resíduos de toda a sociedade. Ainda segundo John (2004), o volume de entulhos de construção e demolição gerado pela construção civil é até duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano.

Em decorrência desses fatores, surge a necessidade de se implementar novos métodos e tecnologias mais sustentáveis e eficientes no âmbito da Construção Civil, para que a mesma possa causar menos impacto no meio ambiente, e minimize os problemas causados pela extração descontrolada de matéria-prima e emissão de gases poluentes na fabricação de determinados materiais para a construção, e ao mesmo tempo seja capaz de satisfazer aos anseios de infraestrutura da população, aliando baixo custo e qualidade.

Tendo em vista essa necessidade urgente de novos métodos construtivos que causem menos impacto ao meio ambiente, o tijolo de solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico, que é composto por solo estabilizado com cimento e água (solo-cimento), moldado através de prensas manuais ou hidráulicas, é uma excelente opção para suprir essas necessidades, uma vez que este tipo de tijolo utiliza como matéria-prima principal um dos materiais mais abundantes da Terra, o solo, sem necessitar de processos industriais para sua obtenção, e possui fácil processo de fabricação, podendo ser fabricado no próprio local da obra, e dispensando o processo de queima em sua produção, evitando assim a emissão de dióxido de carbono (CO_2), além de possuir resistência igual ou superior aos blocos convencionais.

Outro aspecto importante da utilização de tijolos de solo-cimento é a possibilidade de racionalização do processo construtivo, uma vez que a alvenaria de tijolos de solo-cimento praticamente não gera resíduos, além de, devido às reentrâncias que permitem o encaixe entre os tijolos, este tipo de alvenaria utiliza pouca ou nenhuma argamassa de assentamento e pode dispensar argamassa de revestimento, reduzindo assim custos e dando mais agilidade a obra. Estudos feitos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento comprovaram que, além do bom desempenho termo acústico, o solo-cimento aplicado em construções levava a uma redução de custos de 20% a 40%, se comparado com as alvenarias tradicionais de tijolos de barro ou cerâmicos (FIGUEROLA, 2004). Harmonizando assim, aspectos fundamentais para a construção civil: custo, qualidade, tempo e sustentabilidade.

Tendo em vista todo o contexto apresentado e as numerosas vantagens da utilização de tijolos de solo-cimento, torna-se necessário o estudo e a pesquisa a respeito do mesmo. Dessa forma, este trabalho visa à identificação e o estudo das propriedades e características dos tijolos de solo-cimento.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar as propriedades dos tijolos de solo-cimento produzidos na região de Feira de Santana – BA.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a composição granulométrica do solo utilizado na composição dos tijolos de solo-cimento, para verificar se o solo atende as características normalizadas.
- Avaliar se os traços empregados atualmente pela empresa atendem aos parâmetros normativos de resistência à compressão e absorção d'água.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Solo- Cimento

3.1.1. Definição e Histórico

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (1980) o solo-cimento é o “produto resultante da mistura de solo, cimento Portland e água que, compactados ao teor ótimo de umidade e sob a máxima densidade, em proporções previamente estabelecidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento.”

Segundo Mercado (1990) trata-se de um processo físico-químico de estabilização, no qual as consequências decorrem de uma estruturação resultante da reorientação das partículas sólidas do solo com a deposição de substâncias cimentantes nos contatos intergranulares, alterando, portanto, a quantidade relativa de cada uma das três fases - sólidos, água e ar - que constituem o solo.

Blücher apud Grande (2003) destaca que os principais fatores que afetam a qualidade do solo-cimento são: “o tipo de solo, o teor de cimento, teor de umidade, o método de mistura e a compactação.” O autor ainda ressalta que, desses fatores, o solo exerce maior influência.

Segundo Bauer (2008), a primeira utilização do solo-cimento, foi realizada pelo engenheiro inglês H.E. Brook-Bradley, que aplicou o produto no tratamento de leitos de estradas e pistas para veículos puxados a cavalo, ao sul da Inglaterra. O uso pelos americanos ocorreu em 1917, pelo engenheiro T.H. Amies (SILVA, 1991). Entretanto, Abiko (1988) afirma que o solo-cimento foi empregado pela primeira vez pelo eng. Bert Reno, pavimentando uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland, e que apenas em 1935 a PCA (Portland Cement Association) deu início as pesquisas sobre o material.

A primeira obra de solo-cimento que se tem notícia no Brasil ocorreu em 1945, e consistia em uma casa de bombas do aeroporto de Santarém, Pará, de 42

m², sendo seguido da construção de casas residenciais em Petrópolis e do hospital Adriano Jorge em 1948, em Manaus (SILVA, 1991). Segundo a autora, até 1976 não houve a necessidade de nenhum tipo de reparo, diferente dos outros materiais, que tiveram que ser substituídos. Por outro lado, Lima (2006) afirma que:

O início da utilização do solo-cimento no Brasil ocorreu em 1940 pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e a Diretoria da Aeronáutica Civil, na construção da pista de circulação do aeroporto de Santos Dumont no Rio de Janeiro.

Figuerola (2004) salienta que o material só foi amplamente utilizado em moradias por volta de 1978, quando o antigo Banco Nacional de Habitação (BNH) aprovou a técnica de construção de paredes monolíticas para as habitações populares.

A partir da década de 70, o solo-cimento começou a ser objeto de pesquisa de várias instituições, como a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (ABIKO, 1988).

Com o apoio dos institutos de pesquisas, já se dispõe, no Brasil, de um volume significativo de conhecimento sobre solo-cimento e também se dispõe de normas técnicas já publicadas. As técnicas de utilização constituem-se basicamente de tijolos e blocos comprimidos, em equipamentos manuais ou automáticos, e de painéis, moldados no local.

3.1.2. Materiais Componentes do Solo-Cimento

3.1.2.1. Solo

Segundo Pinto (1998), os solos podem ser definidos por um conjunto de partículas sólidas provenientes da desagregação de rochas por ações físicas e químicas.

De acordo com Grande (2003), para se obter um solo-cimento de qualidade se torna necessário conhecer bem o material de origem ao qual se está trabalhando, nesse caso, o solo. O solo deve ser de tal maneira que confira elevada resistência à compressão ao material e pequena contração durante a secagem, fatores estes que dependem diretamente de uma mistura equilibrada de areia, silte e argila.

De um modo geral, solos de granulometria não uniforme são ideais, pois além de requererem menor teor de estabilizante, os espaços existentes entre os grãos maiores são preenchidos por partículas menores do próprio solo e, neste caso, os produtos formados das reações de solo-cimento, ao invés de preencher os vazios, agem de forma integral na ligação entre os grãos, influenciando na resistência do produto final. Quando a granulometria do solo não é adequada, pode-se corrigi-la adicionando-se outros tipos de solo. (SOUSA e BARBOSA, 2000).

Segundo a Norma ABNT/NBR 10833:2012, o solo recomendado para a fabricação dos tijolos de solo cimento são os que possuem as seguintes características:

Passando na peneira ABNT 4,8 mm (N ^o 4).....	100%
Passando na peneira ABNT 0,075 (N ^o 200).....	10 a 50%
Limite de liquidez.....	≤45%
Índice de plasticidade	≤18%

De acordo com Neves (2003) os solos mais indicados são os que predominam a fração areia em sua composição, recomendando que o solo utilizado para fabricação dos tijolos de solo-cimento contenha entre 50% a 90% de areia, pois este tipo de solo necessita de menores quantidades de cimento na estabilização do que os argilosos e siltosos. Além disso, segundo Segantini e Alcântara (2010) a presença de grãos de areia grossa e pedregulhos no solo-cimento é benéfica, pois são materiais inertes, com função apenas de enchimento, favorecendo a liberação de maiores quantidades de cimento para aglomerar os

grãos menores.

Entretanto, de acordo com os autores anteriormente citados, a presença da argila na composição do solo é necessária para dar a mistura de solo e cimento, quando umedecida e compactada, coesão suficiente para a imediata retirada do molde, além da resistência inicial. Segantini e Alcântara (2010) acrescentam ainda que teores de silte mais argila inferiores a 20% não propiciam compactação adequada na produção de tijolos de solo-cimento.

Ferreira (2003) estudou a resistência à compressão simples e absorção d'água do material solo-cimento através da determinação experimental em corpos-de-prova cilíndricos, tijolos e painéis. Os solos utilizados foram arenoso e argiloso, sendo adicionados a estes solos os teores de 6% e 10% de cimento Portland. O referido autor, com base nos resultados obtidos, recomendou solos com características semelhantes àsquelas do solo arenoso estudado para estabilização com cimento.

Silva e Castro (2009) relatam que:

Solos com teores altos de mica não devem ser empregados em solo-cimento porque não resistirão às expansões da argila durante os ciclos de secagem e molhagem. Os solos orgânicos e turfosos são inadequados e não devem ser empregados.

Blücher apud Grande (2003) relata que o teor de matéria orgânica presente no solo deve ser baixo e considera que o limite máximo seguro é de 2%, apesar de existirem casos bem sucedidos de estabilização com solos contendo até 5% de matéria orgânica e experiências insatisfatórias com solos contendo 0,5%.

3.1.2.2. Cimento

Cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos complexos que, ao serem misturados com água, hidratam-se, resultando

no endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica (TARTUCE, 1990).

Segundo a ABNT/NBR 5732:1991 o Cimento Portland comum pode ser definido como:

Aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos.

Segundo Mieli (2009), “o clínquer é o resultado da mistura de calcário, argilas e, em menor proporção, minério de ferro, submetida a um processo chamado clinquerização.” Quando reduzido a pó, o clínquer tem composição química específica e propriedades físicas de cimento, contendo basicamente uma série de compostos anidros, dos quais pode-se destacar:

- Silicato tricálcico, ou alita $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ ou pela formula usual C_3S ;
- Silicato dicálcico, ou belita $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ ou pela formula usual C_2S ;
- Aluminato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$ ou pela formula usual C_3A ;
- Ferroaluminato tetracálcico, ou ferrita $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ ou pela formula usual C_4AF ;

O conhecimento dos produtos formados pela hidratação do cimento, bem como dos diversos fatores (calor liberado e velocidade) que constituem essa reação, é de grande importância para o uso prático do cimento Portland. De fato, por se tratar de um componente do solo-cimento, é preciso compreender algumas características tecnológicas desse material.

De acordo com Mieli (2009), as propriedades dos principais componentes do

cimento em hidratação são as seguintes:

- C_3A – reage nos primeiros minutos e ocasiona elevado calor de hidratação, propicia pouco desenvolvimento de resistência e forte retração;
- C_3S – responsável pelo desenvolvimento da resistência nas idades iniciais (3 a 28 dias) e propicia alto despreendimento de calor, libera cerca de 40% em massa de hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$);
- C_2S – proporciona o desenvolvimento da resistência em idades mais avançadas (mais de 28 dias) com baixa liberação de calor, produz cerca de 18% em massa de $Ca(OH)_2$;
- C_4AF – desenvolvimento lento e pequeno de resistência mecânica e boa resistência ao ataque por sulfatos.

Quando o agente estabilizador do solo é o cimento ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo, conferindo a ele resistência inicial. Paralelamente a este processo, ocorrem reações iônicas que provocam a troca de cátions das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio provenientes da hidratação do cimento adicionado. Devido a esta troca, o solo torna-se mais granular e a adesividade é reduzida (MIELI, 2009). Além destas modificações iniciais, Abiko (1988) afirmou que, ao longo do tempo, formam-se compostos cimentantes que contribuem para o melhoramento de propriedades do material, tais como resistência, durabilidade e estabilidade volumétrica.

Durante o processo de estabilização ocorrem ligações mecânicas e químicas entre o cimento e a superfície rugosa dos grãos. O cimento fixa através dos pontos de contato entre os grãos, dessa forma a cimentação é mais efetiva quanto maior a superfície de contato entre os grãos, logo, solos bem graduados propiciam melhores resultados. O endurecimento e o ganho de resistência do solo-cimento ocorre através de reações primárias (cimentação de partículas) e reações secundárias (predominante em solos argilosos) (MIELI, 2009).

Na estabilização química há uma reação química do cimento com os minerais do solo. No solo-cimento existe, inicialmente, uma reação que se caracteriza melhor como físico-química: os cátions Ca^{++} liberados pela hidratação do cimento reagem com a superfície dos argilo-minerais e modificam o pH da solução eletrolítica. Os produtos cimentantes que se formam posteriormente (diz-se reação pozolânica) acrescem a rigidez da mistura (MEDINA,1987).

Pitta (1995) relata que a resistência à compressão é função direta dos elos externos cimentados. Quase como regra, o consumo de cimento cresce com o aumento da parcela de finos presentes no solo, assim, para estabilizar um solo argiloso seria necessário uma maior quantidade de cimento do que seria para a estabilização de uma areia bem graduada. A exceção ocorre quando se trata de uma areia uniforme necessitando de mais cimento do que solos arenosos com a presença de silte e argila. (PEREIRA, 2012)

Pecoriello (2003) afirma que se pode utilizar qualquer tipo de cimento na mistura. De acordo com a ABCP (2000) os cimentos que poderão ser utilizados na produção dos tijolos de solo-cimento deverão atender a uma das seguintes especificações:

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

De acordo com Neves (2003) existe uma relação entre a resistência à compressão, a percentagem de areia presente no solo e a quantidade de cimento utilizada na mistura. Os resultados comprovaram que a resistência à compressão do solo-cimento tem relação direta e crescente com a da quantidade de cimento adicionada. Os estudos constataram também que, para uma mesma quantidade de cimento, a resistência à compressão do solo-cimento é diretamente crescente em função do teor de areia no solo. Ou seja, solos mais arenosos apresentam, em geral,

maior resistência à compressão que solos siltosos ou argilosos.

Porém, Ingles e Metcalf (1972), alerta que se o teor de cimento for muito elevado e as condições de cura forem inadequadas, é provável que ocorram fissuras no material causadas pela retração por secagem. Em analogia à tecnologia dos concretos, convém afirmar que a cura é de fundamental importância para a qualidade do solo-cimento.

3.1.3. Compactação e Umidade ótima

A compactação e a umidade adequada da mistura são essenciais para a obtenção de um solo-cimento satisfatório, “pois somente uma boa compactação pode garantir que o material atinja um determinado peso específico, ou densidade aparente, que lhe confira resistência mecânica apropriada para um determinado fim” (GRANDE, 2003).

“A compactação é o processo pelo qual as partículas são forçadas a agruparem-se mais estreitamente, através da redução dos vazios, geralmente por meios mecânicos.” (BLÜCHER APUD GRANDE, 2003). Após a compactação, o material adquire nova configuração e, esta, afeta significativamente as características mecânicas e, conseqüentemente, a porosidade e permeabilidade do material.

A umidade ótima é um parâmetro muito importante nos trabalhos realizados com solos, e esta é definida como o teor de umidade correspondente à massa específica seca máxima. Na verdade, a umidade ótima promove uma lubrificação das partículas, facilitando, quando se imprime uma energia de compactação, o preenchimento de todos os vazios possíveis, dessa forma propicia melhores condições de trabalhabilidade e máxima compactação do material, proporcionando maiores valores de densidade, resistência à compressão e maior durabilidade do material.

Uma das propriedades mais importantes de um solo-cimento compactado é

a densidade, que influenciará na resistência à compressão do mesmo, e que é função do teor de umidade no momento de compactação. Para uma energia de compactação constante, ao se adicionar água ao solo-cimento, sua densidade aparente aumentará até certo ponto, chamado umidade ótima. Ao acrescentar teores de umidade acima do ótimo, a densidade torna a reduzir, pois o excesso de água absorve parte da energia de compactação e redistribui ao sistema, afastando as partículas sólidas.

A qualidade do tijolo de solo-cimento prensado é função do empacotamento dos grãos do solo depois de compactado. O equipamento utilizado para a moldagem do tijolo desempenha papel fundamental, pois ele condiciona a taxa de compactação do material e as características produtivas em si, conforme avaliações de Faria (1990).

3.1.4. Tijolos de Solo-Cimento

Segundo a norma ABNT/NBR 8491:2012 o tijolo de solo-cimento pode ser definido como:

Aquele cujo volume não é inferior a 85% de seu volume total aparente e é constituído por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos em proporções que permitam atender as exigências desta Norma.

O tijolo de solo-cimento apresenta dois furos no seu corpo e saliências. O sistema de construção da alvenaria com esse material é baseado no intertravamento e encaixe dos blocos, sendo este permitido pelo conjunto de saliências e rebaixos no topo e na base do bloco, garantindo também o seu autoalinhamento (PECORIELLO, 2003).

Segundo a norma ABNT/NBR 8491:2012, a absorção de água para tijolos maciços de solo-cimento, para vedação, não deve ser maior do que 20% para valores médios, e superior a 22% para valores individuais, e a resistência à compressão para tijolos maciços de solo-cimento, para vedação, não deve ser

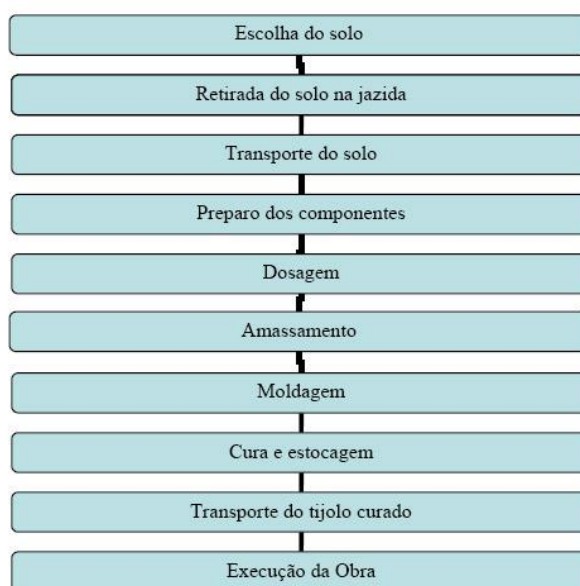
inferior a 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais, com idade mínima de sete dias.

Apesar de a norma apresentar valores de resistência mínima para tijolos sem função estrutural, Grande (2003) acrescenta que os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados em alvenaria estrutural, desde que atendam as resistências estabelecidas nos critérios de projeto, que devem ser os mesmos aplicados aos materiais de alvenaria convencional, bem como devem seguir as indicações de cuidados e manutenção do material.

3.1.4.1. Processo de Produção dos Tijolos

De acordo com Pisani (2005) “a produção dos tijolos de solo-cimento varia de acordo com os objetivos de sua utilização (resistências, aparentes ou para serem revestidos, pesos, formato, cor, textura, componentes e outros) e de acordo com o processo a ser utilizado (processos manuais ou mecânicos).” Levando em consideração estes aspectos, pode-se relacionar as seguintes etapas, conforme ilustrado na Figura.

Figura 3.1 – Fluxograma das etapas de fabricação e utilização dos tijolos de solo-cimento.



Fonte: Pisani (2005)

A escolha do solo tem grande importância porque é o componente de maior quantidade na mistura, influenciando diretamente na qualidade e no custo final do tijolo produzido.

O solo a ser utilizado na produção dos tijolos de solo-cimento, segundo Pecoriello (2003) deve ser submetido previamente à secagem ao ar em local coberto, atingindo ao final uma umidade homogênea, em seguida deve ser destorroado, e por fim é necessário peneirar o solo para eliminar as partículas com diâmetros superiores a 4.8 mm. Após o peneiramento o solo deve ser bem misturado.

A água a ser utilizada no preparo da mistura do solo com o cimento deve ser potável.

Em termos de dosagem, a ABCP (2000) recomenda moldar tijolos com proporções, em volume, de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14. A escolha do “traço adequado” deve ser a que apresentar menor consumo de cimento e atender aos critérios de resistência à compressão e absorção de água, estabelecidos na Norma ABNT/NBR 8491:2012. Nesta fase pode ser colocado algum tipo de aditivo, como por exemplo, corantes, cimentos refratários, impermeabilizantes, etc.. (PISANI, 2005)

A mistura dos materiais pode ser realizada de forma manual ou mecânica. Segundo a ABCP (2000) deve se proceder da seguinte forma:

O solo, destorroado e peneirado, é colocado sobre uma superfície lisa e limpa (de preferência cimentada) e espalhado numa camada não superior a 20 cm de espessura. Em seguida, o cimento é distribuído sobre a camada de solo. Com o auxílio de pás e enxadas é processada a mistura do solo com o cimento, até que se obtenha coloração uniforme. Se necessário, colocar água aos poucos, até que se atinja a umidade ideal. Quando a mistura atingir a umidade desejada, recomenda-se proceder a um novo peneiramento, dessa vez para permitir uma melhor homogeneização da água no solo-cimento.

Cunha (2007) sugere que a água seja colocada em pequenas quantidades, e de preferência com o uso de regador com pequeno chuveiro adaptado, evitando a sua concentração em determinados pontos, até que se atinja a umidade ideal.

Na prática, a umidade da mistura é verificada através de procedimentos simplificados, baseados na coesão apresentada pela massa fresca. Quando a amostra está seca, não existe a formação de um bolo compacto, com marca nítida dos dedos em relevo, ao apertarmos na mão a massa de forma enérgica. Outro método complementar muito utilizado consiste em deixar cair o bolo formado, de uma altura aproximadamente um metro, sobre a superfície rígida. No impacto o bolo deverá se desmanchar, não formando uma massa única e compacta. Se houver excesso de água, a massa se manterá úmida e rígida após o impacto, fato não desejável. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2000)

Para o processo de prensagem dos tijolos de solo-cimento pode-se utilizar prensas manuais ou hidráulicas. O tipo de prensa é importante, pois, quanto maior a compactação imposta ao solo, melhor será o desempenho final do tijolo. No mercado encontram-se diversos tipos de prensas, manuais e hidráulicas. Estas últimas imprimem ao solo pressões muito maiores que as manuais, resultando em produtos muito resistentes (BARBOSA, 2003).

Pecoriello (2003) considera a compactação da mistura como sendo a fase mais importante do processo de produção, pois representa a síntese de todo o processo: “todos os componentes, até então disformes, separados transformam-se num único objeto, de forma e função definidas; as propriedades individuais da matéria-prima perdem importância para as propriedades do tijolo”. Entretanto, o referido autor afirma também que “grandes acréscimos na energia de compactação não significam necessariamente incrementos proporcionais na resistência mecânica dos tijolos”.

Antes de iniciar o processo de prensagem dos tijolos, de acordo com a ABCP (2000):

[...] é necessário efetuar a regulagem da máquina, para que se tenha as dimensões corretas requeridas para o tijolo, com o adensamento adequado. Caso os primeiros tijolos obtidos durante a regulagem estiverem fora das especificações, poderão ser destorroados e, em seguida, reaproveitados através de nova prensagem. Feita a regulagem da prensa, a mistura é colocada dentro dos moldes e prensada. Logo após a prensagem, os tijolos produzidos são retirados dos moldes cuidadosamente, a fim de evitar quebras de arestas, e transportados em bandejas para a área de cura. Os tijolos devem ser colocados à sombra, sobre uma superfície plana e empilhados até uma altura máxima de 1,5 m.

Aproximadamente 6 horas depois de prensados, os tijolos devem ser molhados periodicamente para que ocorra a reatividade das partículas do solo com o cimento, que necessita de umidade durante um período de sete dias, a fim de que se obtenha máxima resistência do conjunto. Os tijolos de solo-cimento também precisam manter a umidade presente para evitar a saída rápida da água da mistura. Um método muito eficaz para evitar a evaporação da água, consiste em se cobrir os tijolos com uma lona plástica logo após a fabricação. Assim minimiza-se a evaporação da água e garante-se a cura dos tijolos. (PRESA, 2011)

3.1.4.2. Viabilidade de Utilização dos Tijolos

É de grande importância que se possa aliar praticidade com economia de custos em uma edificação, já que grande influência na escolha de materiais e métodos a serem utilizados em determinada construção, vem da esperada economia de custos ao se utilizar tal método ou material. Diante dessa inferência, o tijolo de solo-cimento torna-se uma potencial alternativa, pois de acordo com Pisani (2005), o tijolo de solo cimento possui matéria-prima abundante em todo o planeta, por se tratar do solo. A autora ressalta ainda, que o produto não precisa ser queimado, o que proporciona economia de energia, além de proporcionar ambientes confortáveis com pouco gasto energético, permitindo conforto térmico e acústico, pelo fato de possuir características isolantes.

O uso de tijolos de solo-cimento apresenta como vantagens o controle de perdas (redução de desperdícios), disponibilidade de abastecimento, baixo custo em comparação com as alvenarias tradicionais, durabilidade e segurança estrutural, operação de equipamentos de produção independentemente da sua localidade, eficiência construtiva devido ao encaixe e do uso de nenhuma ou pouca argamassa, facilidade de manuseio, baixa agressividade ao meio ambiente e economia de transporte quando produzidos no próprio local da obra (GRANDE, 2003).

Grande (2003) afirma ainda que em relação aos tijolos comuns, apresenta textura e medidas regulares, evitando desperdício de material para correção de imperfeições, e um bom acabamento; o sistema de encaixe auxilia a orientação do assentamento, evitando que a parede fique fora do prumo e mantendo as juntas regulares, evitando o surgimento de trincas e fissuras. O seu uso reduz o peso da construção, devido à menor quantidade de material para revestimento e assentamento; reduz o tempo da obra, gerando economia de mão de obra; e mantém o canteiro de obra mais limpo e organizado. Além disso, os tijolos podem ser produzidos com furos internos que permitem a passagem das instalações hidráulicas e elétricas sem a necessidade de cortes ou quebras, gerando pouco resíduo.

Figuerola (2004) salienta ainda que estudos realizados pelo IPT e pelo CEPED provaram que, além do bom desempenho termo-acústico, o solo-cimento aplicado em construções apresentava uma redução de 20% a 40% do custo, quando comparado à alvenaria tradicional de barro ou de blocos cerâmicos. Ela afirma também que sua produção não necessita de queima de madeira, óleo ou qualquer outro tipo de combustível, evitando a emissão de dióxido de carbono (CO₂), garantindo as suas características ecológicas. Entretanto, cabe destacar que os tijolos de solo-cimento empregam em sua composição cimento Portland, cuja produção libera dióxido de carbono.

Apesar da possibilidade de utilizar a alvenaria de tijolos de solo-cimento sem argamassa de revestimento, de acordo com Pecoriello (2003) “pelas características higroscópicas do solo-cimento recomenda-se proteger as paredes externas da penetração de umidade, pois estas variações são sempre seguidas de variações

dimensionais que induzem tensões na alvenaria” e sendo assim, “as paredes diretamente expostas à molhagem pela chuva devem ser protegidas por pintura hidrófuga ou outro revestimento similar bem como as paredes dos locais onde seja prevista maior umidade tais como banheiros e cozinhas”.

Como dito anteriormente, os tijolos de solo-cimento podem ser assentados a seco, sem a utilização de argamassa. Entretanto, Grande (2003) recomenda a utilização de uma argamassa de assentamento porque esta, além de unir os tijolos, garante uma melhor transmissão dos esforços e regularização das imperfeições dimensionais dos encaixes dos tijolos. Ele conclui ainda que “a aplicação da argamassa de assentamento não traz muita complicação em relação ao limite de qualidade (especialização) da mão-de-obra que irá executar a alvenaria”, o que mantém a simplificação do sistema construtivo.

Pecoriello (2003) relata que a construção de alguns painéis e de um protótipo com este tipo de tijolo (com interface de encaixe) apresentaram uma redução de aproximadamente 50% da argamassa de assentamento e uma simplificação na elevação da alvenaria, viabilizando a construção com metade da mão-de-obra especializada normalmente requerida.

Como qualquer componente utilizado na Construção Civil, o tijolo de solo-cimento deve proporcionar segurança e praticidade para a obra, visando sempre atender as demandas exigidas ao mesmo. Aspectos importantes a serem salientados sobre o tijolo ecológico é sobre sua grande durabilidade e manutenção reduzida das edificações realizadas com o mesmo, pois por apresentar elevada resistência e boa impermeabilidade, as construções com ele executadas são muito duráveis, resistindo ao longo dos anos ao desgaste e à umidade (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

Morais, Chaves e Jones (2014) destacam o crescente incentivo à utilização de métodos de reciclagem em diversos setores da sociedade. E, seguindo essa vertente, uma ótima alternativa para a composição do tijolo de solo-cimento é a reciclagem utilizando-se de resíduos que, até então, seriam descartados como

entulho em locais muitas vezes inapropriados, mas que, com a reutilização dos mesmos, se tornam parte importante da composição base do tijolo ecológico.

Apesar das muitas vantagens apresentadas por todos os autores consultados, a alvenaria de tijolos de solo-cimento pode apresentar diversas patologias, caso não seja executada de maneira adequada. Pecoriello (2003) e Figuerola (2004) citam as seguintes patologias:

- Fissuras por efeito de retração;
- Desgaste superficial;
- Percolação de umidade através de paredes;
- Trincas devido à expansão e contração de tijolos mal fabricados ou curados;
- Trincas verticais, devido a tijolos com diferentes espessuras, incompatibilidade com o graute ou recalque da fundação;
- Danos à parede devido à falta de vergas e contravergas.

Uma dificuldade encontrada na produção dos tijolos de solo-cimento é a da grande heterogeneidade dos solos, o que faz com que seja necessário um estudo prévio da granulometria e propriedades dos mesmos antes da fabricação dos tijolos, visto que o solo é o seu principal componente, e que se o mesmo não estiver dentro dos parâmetros normalizados irá influenciar diretamente na qualidade do produto final.

Dessa forma, a elaboração de novas pesquisas na área de técnicas de produção do tijolo ecológico torna-se necessária para a sua implantação massiva no mercado da Construção Civil, já que o mesmo mostra uma grande potencialidade de utilização para reduzir os impactos causados pela Construção Civil no meio ambiente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os tijolos utilizados neste trabalho foram produzidos pela empresa Barro Duro, no dia 17 de Maio de 2016. O solo utilizado na fabricação dos tijolos foi retirado da jazida de Alagoinhas, e o cimento utilizado foi o CPII-Z, para compactação da mistura utilizou-se a prensa hidráulica Eco Master Turbo 7000. Foram produzidos tijolos com os traços 1:8; 1:9 e 1:10 (cimento: solo(em volume)).

A fim de se obter a caracterização do solo utilizado na produção dos tijolos de solo-cimento realizou-se o ensaio de determinação granulométrica, conforme disposto na norma ABNT/NBR NM 248: 2003. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Pavimentação, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, utilizando amostras preparadas conforme disposto na norma ABNT/NBR 6457:2016.

As características físicas dos tijolos de solo-cimento foram determinadas através dos ensaios de absorção d'água e resistência à compressão, que foram realizados de acordo com os procedimentos estabelecidos na norma ABNT/NBR 8492:2012, onde os tijolos foram ensaiados com idade de 28 dias, no Laboratório de Materiais de Construção II da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Figura 4.1- Processo de capeamento dos tijolos



Fonte: O autor (2016)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através dos ensaios de absorção d'água dos tijolos de solo-cimento, para seus respectivos traços, são apresentados através das tabelas a seguir:

Tabela 5.1- Absorção d'água para o traço 1:8 (cimento: solo (em volume))

Nº da amostra	Absorção d'água (%)	Média (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
1:8 - 11	10,23	9,53	0,63	6,61
1:8 - 12	9,37			
1:8 - 13	9,00			

Fonte: O autor (2016)

Observa-se na tabela 5.1 que os valores encontrados para a absorção d'água dos tijolos produzidos no traço 1:8 (cimento: solo (em volume)) estão abaixo dos valores máximos estabelecidos pela norma ABNT/NBR 8491:2012, onde a absorção d'água para tijolos maciços de solo-cimento, não deve ser maior do que 20% para valores médios e superiores a 22% para valores individuais.

Tabela 5.2- Absorção d'água para o traço 1:9 (cimento: solo (em volume))

Nº da amostra	Absorção d'água (%)	Média (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
1:9 - 11	10,67	11,80	1,48	12,54
1:9 - 12	13,48			
1:9 - 13	11,25			

Fonte: O autor (2016)

Pela Tabela 5.2, verifica-se que os valores encontrados para a absorção d'água dos tijolos produzidos no traço 1:9 (cimento: solo (em volume)) estão abaixo dos valores máximos estabelecidos pela norma ABNT/NBR 8491:2012 (20% para valores médios e 22% para valores individuais).

Tabela 5.3- Absorção d'água para o traço 1:10 (cimento: solo (em volume))

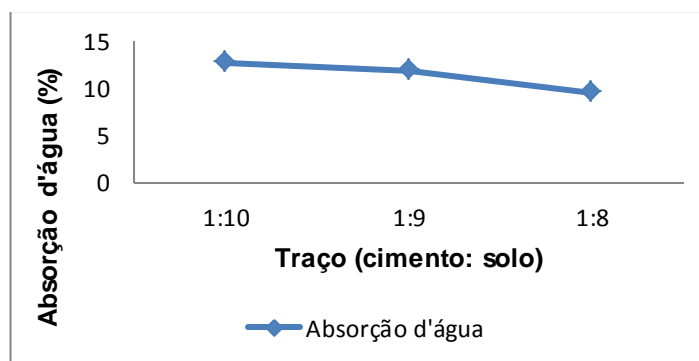
Nº da amostra	Absorção d'água (%)	Média (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
1:10 - 11	14,04	12,66	1,42	11,22
1:10 - 12	12,74			
1:10 - 13	11,21			

Fonte: O autor (2016)

Através da Tabela 5.3, verifica-se que os valores encontrados para a absorção d'água dos tijolos produzidos no traço 1:10 (cimento: solo (em volume)) estão abaixo dos valores máximos estabelecidos pela norma ABNT/NBR 8491:2012 (20% para valores médios e 22% para valores individuais).

A Figura 5.1 mostra a variação da absorção d'água em função do traço utilizado na mistura. Verifica-se que existe um crescimento na absorção d'água à medida que se diminui a quantidade de cimento da mistura, ou seja, os traços mais pobres em cimento obtiveram maiores valores de absorção d'água. Como explicado por Mieli (2009) no solo-cimento ocorrem reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento formando um gel que preenche parte dos vazios da massa e une os grãos adjacentes do solo. Dessa forma, quanto menor a quantidade de cimento na mistura, menor a quantidade de material para reagir, e menor será o produto formado desta reação, conseqüentemente um menor número de vazios serão preenchidos, favorecendo uma maior porosidade do material e facilitando a percolação de água, o que influenciara diretamente na absorção d'água do material.

Figura 5.1- Variação da absorção d'água em função do traço utilizado na mistura



Fonte: O autor (2016)

Os resultados obtidos através dos ensaios de resistência à compressão axial dos tijolos de solo-cimento, para seus respectivos traços, são apresentados através das tabelas a seguir:

Tabela 5.4- Resistência à compressão para o traço 1:8 (cimento: solo (em volume))

Nº da amostra	Resistência a Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
1:8 - 1	0,78	0,89	0,095	10,67
1:8 - 3	0,82			
1:8 - 4	0,79			
1:8 - 5	1,00			
1:8 - 6	0,90			
1:8 - 7	0,86			
1:8 - 8	1,04			
1:8 - 9	0,84			
1:8 - 10	0,97			

Fonte: O autor (2016)

Observa-se na Tabela 5.4 que os valores encontrados para resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento produzidos no traço 1:8 (cimento: solo (em volume)) estão abaixo dos valores mínimos estabelecidos pela norma ABNT/NBR 8491:2012, onde a resistência à compressão para tijolos maciços de solo-cimento não deve ser inferior a 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais, com idade mínima de sete dias.

Tabela 5.5- Resistência à compressão para o traço 1:9 (cimento: solo (em volume))

Nº da amostra	Resistência a Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
1:9 - 1	0,11	0,56	0,22	39,29
1:9 - 2	0,68			
1:9 - 3	0,56			
1:9 - 4	0,29			
1:9 - 5	0,58			
1:9 - 6	0,68			
1:9 - 7	0,71			
1:9 - 8	0,80			
1:9 - 9	0,40			
1:9 - 10	0,76			

Fonte: O autor (2016)

Verifica-se, pela Tabela 5.5, que os valores encontrados para resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento produzidos no traço 1:9 (cimento: solo (em volume)) estão abaixo dos valores mínimos estabelecidos pela norma ABNT/NBR 8491:2012 (2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais).

Tabela 5.6- Resistência à compressão para o traço 1:10 (cimento: solo (em volume))

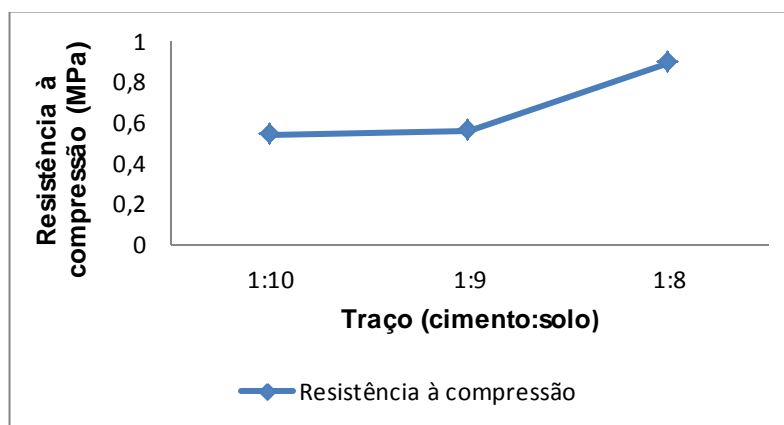
Nº da amostra	Resistência a Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variância (%)
1:10 - 1	0,43	0,54	0,26	48,15
1:10 - 2	0,55			
1:10 - 3	0,85			
1:10 - 4	0,68			
1:10 - 5	0,32			
1:10 - 6	0,35			
1:10 - 7	0,38			
1:10 - 8	0,12			
1:10 - 9	0,86			
1:10 - 10	0,87			

Fonte: O autor (2016)

Através da Tabela 5.6, verifica-se que os valores encontrados para resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento produzidos no traço 1:10 (cimento: solo (em volume)) estão abaixo dos valores mínimos estabelecidos pela norma ABNT/NBR 8491:2012 (2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais).

A Figura 5.2 mostra a variação da resistência à compressão em função do traço utilizado na mistura. Observa-se que apesar dos valores encontrados estarem abaixo dos valores mínimos estabelecidos pela norma, existe uma relação entre resistência à compressão e o teor de cimento da mistura, como previsto por Neves (2003). Verifica-se que os tijolos produzidos no traço 1:9 com relação aos produzidos no traço 1:10, obtiveram um aumento de resistência à compressão de 3,7%. Já os tijolos produzidos no traço 1:8 obtiveram aumento de resistência à compressão de 64,8% com relação aos tijolos produzidos no traço 1:10, desta forma o traço que propiciou os melhores resultados para resistência á compressão foi o de 1:8 (cimento: solo (em volume)).

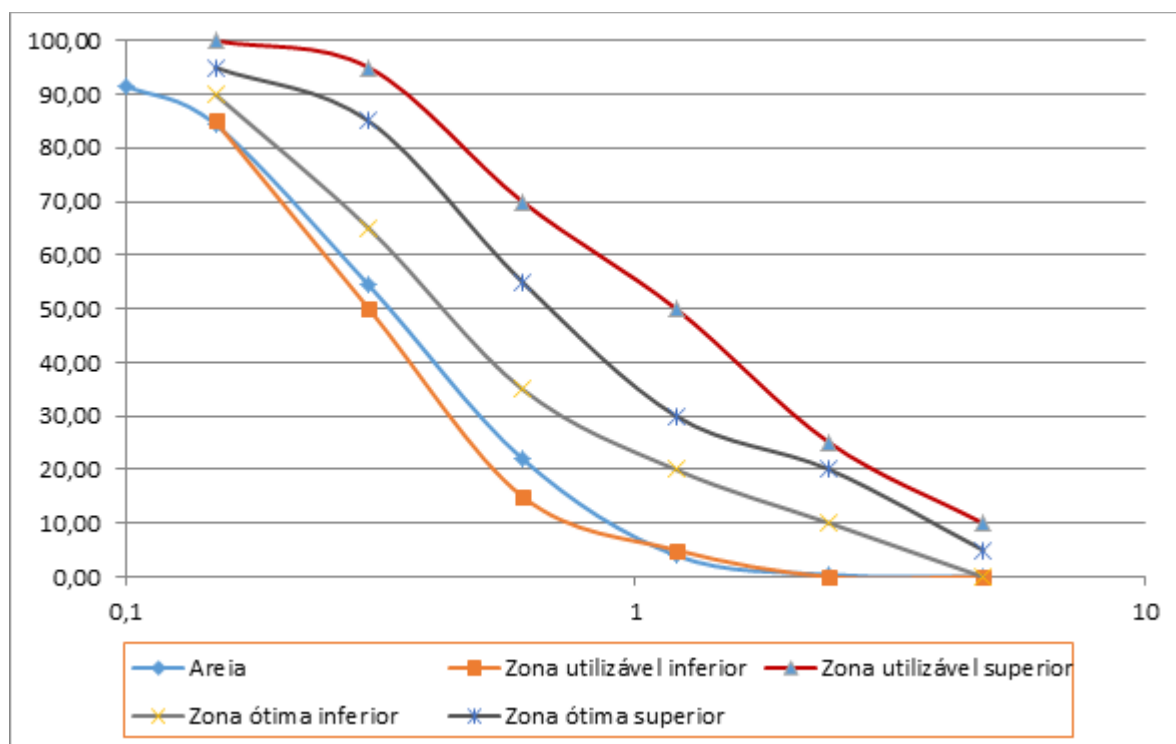
Figura 5.2- Variação da resistência à compressão em função do traço utilizado na mistura



Fonte: O autor (2016)

Através do ensaio de determinação da composição granulométrica do solo utilizado na fabricação dos tijolos, obtivemos a seguinte curva de distribuição granulométrica:

Figura 5.3- Curva de distribuição granulométrica



Fonte: O autor (2016)

Por meio de peneiramento do solo seco, obtivemos os seguintes resultados:

Tabela 5.7 – Percentual de material passante nas peneiras de 4,8 mm e 0,075 mm

Peneira ABNT (mm)	Material passante (%)
4,8	100
0,075	7,81

Fonte: O autor (2016)

Pela curva de distribuição granulométrica (Figura 5.3) e pelo percentual de solo retido na peneira de 0,075 mm (Tabela 5.7), observa-se que o solo utilizado na fabricação dos tijolos de solo-cimento é predominantemente arenoso. Entretanto, também pela curva de distribuição granulométrica, observa-se que a curva obtida não está dentro da zona ótima de utilização, que seria a distribuição granulométrica que possibilitaria o melhor empacotamento possível dos grãos deste solo, além disso, a curva também não está totalmente dentro da zona utilizável, o que nos indica que este solo não possui boa graduação, portanto, passível de correção granulométrica. Como este solo não possui uma granulometria que proporciona o melhor empacotamento dos grãos, não ocorre um arranjo adequado destes, formando espaços vazios entre os grãos, o que influencia diretamente na resistência à compressão dos tijolos.

Observa-se que o percentual passante de solo na peneira de 0,075 mm (Tabela 5.7), 7,81%, está abaixo do percentual recomendado pela norma ABNT/NBR 10833:2012, onde se estabelece que 10 a 50% do solo deve passar pela peneira ABNT 0,075 mm. O que indica que o solo possui baixo teor de silte mais argila, e de acordo com Segantini e Alcântara (2010) teores de silte mais argila inferiores a 20% não propiciam compactação adequada do material, o que influencia diretamente na resistência à compressão dos tijolos. Além disso, no solo-cimento, os cátions Ca^{++} liberados pela hidratação do cimento Portland reagem com a superfície dos argilo-minerais e modificam o pH da solução eletrolítica. Os produtos cimentantes que se formam posteriormente (diz-se reação pozolânica) crescem a rigidez da mistura (MEDINA,1987). Assim, o baixo teor de silte mais argila presente no solo estudado compromete a ocorrência destas reações, e conseqüentemente a

formação dos produtos cimentantes que aumentam a rigidez da mistura e aumentam a resistência do material.

A partir destes resultados fica evidente que apesar do teor de cimento da mistura influenciar no ganho de resistência dos tijolos, o fator determinante do ganho de resistência é a composição granulométrica do solo utilizado na produção do material.

6. CONCLUSÃO

Conforme a exposição inicial deste trabalho, o principal objetivo desta pesquisa foi avaliar as propriedades dos tijolos de solo-cimento. Dessa forma, as principais conclusões são:

- I. Os tijolos de solo-cimento ensaiados possuem absorção d'água dentro dos valores normalizados.
- II. Existe um crescimento na absorção d'água dos tijolos à medida que se diminui a quantidade de cimento da mistura.
- III. Os tijolos ensaiados possuem resistência à compressão inferior aos valores mínimos estabelecidos por norma.
- IV. Há uma relação entre resistência à compressão e o teor de cimento da mistura.
- V. O solo utilizado na fabricação dos tijolos não atende aos requisitos normalizados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A. K. Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: PINI, 1988, p.97-106.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (1980). **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo, SP., 51p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND- ABCP. (2000). **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. Publicações ABCP, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10833**. Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.3 p.

_____, **NBR 5732**. Cimento Portland comum - Especificação, Rio de Janeiro, 1991, 5 p.

_____, **NBR 8491**. Tijolo maciço de solo-cimento - Especificação, Rio de Janeiro, 2012, 4 p.

_____, **NBR 6457**. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2016, 9 p.

_____, **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

_____, **NBR 8492**. Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2012, 5 p.

BARBOSA, N. P. **Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes**. In Coletânea Habitar, Volume 2 Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional, p. 12-39. ANTAC. Porto Alegre, 2003.

BAUER, L.A F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 538 p. 2 v.

CUNHA, A. F. **Construções Sustentáveis na Engenharia Civil**. 2007. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007.

FARIA, J. R. G. (1990). **Unidade de produção de tijolos de solo estabilizado**. Dissertação de Mestrado, EESC – USP, São Carlos.

FERREIRA, R. C. **Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos**. 204 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

FIGUEROLA, V. Alvenaria de solo-cimento. **Téchne**, São Paulo: PINI, 2004, n.85, p.30-35, Abril.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003, 165 p.

INGLES, O. G.; METCALF, J.B. (1972). **Soil stabilization: principles and practice**. Butterworths, Sydney – Melbourne – Brisbane.

JOHN, V. M. **A Construção, o Meio Ambiente e a Reciclagem**. 2004. Disponível em : < http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm >. Acesso em: 06/03/2016.

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.

MEDINA, J. **Apostila de Estabilização de solos – COPPE – UFRJ**. 1987.

MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes à sua produção e utilização em estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) São Paulo: FAU USP, 1990.

METHA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MIELI, P. H. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. 2009. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MORAIS, M. B.; CHAVES, A. M.; JONES, K. M. ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL CONTEMPORÂNEA. **Pensar Engenharia**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, jul. 2014.

NEVES, C. **O uso do solo-cimento em edificações. A experiência do CEPED.** Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2003. 13p.

PECORIELLO, L A. **Recomendações práticas para uso do tijolo furado de solo-cimento na produção de alvenaria.** Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação) São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2003 75 p.

PEREIRA, K. L. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos.** 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

PINTO, C. S. **Propriedades dos solos.** In: Fundações: teoria e prática / Waldemar Hachich ... [et al.] São Paulo: PINI, 1998.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento.** In: SINERGIA. v.6. n.1. 2005. São Paulo, 2005.

PITTA, M. R. Estabilização com solo-cimento. **Téchne**, São Paulo: PINI, 1995 n. 17, Julho/Agosto.

PRESA, M. B. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo-cimento.** 2011. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SILVA, F. S.; CASTRO, A. P. **Incentivo ao uso de produtos de baixo impacto ambiental através da disciplina de materiais de construção civil.** Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio. Salto, SP, 2009, 8p.

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

SOUSA, S.M.T.; BARBOSA, N. P. **Estabilização granulométrica de solos para a confecção de tijolos prensados de terra crua.** In: Encontro nacional de Tecnologia do ambiente construído, 8., 2000, Salvador, 2000.

