

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VITOR UDSON SOUZA PEDRAL

**ESTUDO DO TIJOLO ECOLÓGICO: ASPECTOS GERAIS E UTILIZAÇÃO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2020

VITOR UDSON SOUZA PEDRAL

**ESTUDO DO TIJOLO ECOLÓGICO: ASPECTOS GERAIS E UTILIZAÇÃO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe - Campus Aracaju.

Orientador: Prof.^a M.Sc. Emiliana De Souza Rezende Guedes

ARACAJU

2020



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
Av. Jorge Amado, 1551 – Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 – Aracaju/SE
Fone: (79) 3711 1400 – E-mail: reitoria@ifs.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 183

**ESTUDO DO TIJOLO ECOLÓGICO: ASPECTOS GERAIS E UTILIZAÇÃO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL.**

VITOR UDSON SOUZA PEDRAL

Esta monografia foi apresentada às 20h do dia 11 de dezembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^ª. Dr^ª. Carla Cristina Nascimento
Santos Pereira

(IFS-Campus Aracaju)

Prof. Wilson Ramos Aragão Júnior

(IFS-Campus Aracaju)

Prof^ª M.Sc. Emiliana de Souza Rezende
Guedes

(IFS – Campus Aracaju)
Orientador

Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa

(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pedral, Vitor Udson Souza

P371e Estudo do tijolo ecológico: aspectos gerais e utilização na construção civil. / Vitor Udson Souza Pedral. - Aracaju, 2020.

57f. : il.

Orientadora: Emiliana de Souza Rezende Guedes.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2020.

1. Tijolo solo-cimento. 2. Tijolo ecológico. 3. Sustentabilidade. 4. Fabricação. 5. Construção civil. I. Guedes, Emiliana de Souza Rezende. II. Título.

CDU 691(81)

AGRADECIMENTOS

Carrego comigo o conceito de que a vida é simples. Sempre é possível sonhar e realizar. O Instituto Federal de Sergipe viabilizou o início de um sonho. Um sonho que vivenciei e agora finalizo com este trabalho de conclusão.

Agradeço à Deus por ter abençoado o meu ser com saúde e paz. O apego espiritual com o Senhor foi essencial para manter o equilíbrio, diante de todas as adversidades deste ano atípico, manteve-me são e pronto para suprimir os obstáculos e concretizar este objetivo.

Saliento que nada disso teria sido tangível sem a colaboração de pessoas extraordinárias para a edificação do meu conhecimento.

Agradeço, sobretudo, aos meus pais – Vitor e Rita – que com muito amor e sacrifício puderam apoiar incondicionalmente, sendo os meus maiores incentivadores. Sou grato por serem a minha referência mor e também por serem tão amigos e parceiros. Ao meu irmão Adriel, sou agradecido por se preocupar e por torcer pela minha conquista.

À Fátima, obrigado por ser tão companheira e por embarcar nessa aventura comigo. Seu amor e seu carinho são gatilhos para me estimular e lembrar de que eu tenho um futuro. Você foi fundamental para esta realização.

À toda minha família, gratidão. Vocês são a minha base e a maior representação de amor que posso ter. Não há palavras para descrever o quão sou grato e feliz. Imprescindível, foi a palavra mais perto que encontrei para retratar o apoio que todos vocês, tios e primos, proporcionaram-me.

Aos meus amigos, André, Taiane, Kelly, Euler, Neto, Bruno, Wallace, Breno, Daniel e todos que contribuíram de alguma forma para isso acontecer. Muito obrigado!

À equipe de Gerência de Obra Especial II, da Deso, sou grato pelo auxílio e por todo conhecimento transmitido.

Agradeço à professora M.Sc. Emiliana Guedes pela orientação, pela paciência, pelo carinho e por ser uma pessoa tão amiga. Obrigado por contribuir com toda a sabedoria compartilhada, você colaborou para o meu amadurecimento profissional e pessoal. Sem esquecer, também, dos técnicos Denisson e Danilo, sou muito grato ao esforço de vocês.

Agradeço também a banca examinadora, composta pela Prof^a. Dra. Carla Pereira e pelo Eng. Wilson Aragão.

Por fim, gratidão a todo o corpo docente que contribuiu imensamente para o epílogo deste ciclo. Cada um de vocês foram vitais para a minha formação. Obrigado!

RESUMO

SOUZA PEDRAL, Vitor Udson. **Estudo do tijolo ecológico: aspectos gerais e utilização na construção civil**. 57 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - Campus Aracaju. 2020.

O mundo e a sociedade exigem, cada vez mais, métodos sustentáveis diante da construção civil. Uma alternativa viável é a utilização do tijolo solo-cimento, conhecido como tijolo ecológico, tido como elemento construtivo formado a partir da prensagem da mistura de solo, cimento e água. A fabricação desse material é simples, prática e não é necessário realizar o procedimento de queima, promovendo menores impactos ao meio ambiente. Além disso, o material permite a capacidade de reaproveitar solos, resíduos e fibras que seriam descartados durante a edificação de uma obra. O presente trabalho, fundamentado através de referências bibliográficas, descreve completamente o processo de fabricação e de execução desses tijolos, com o objetivo de colaborar com a pesquisa científica e impulsionar o setor construtivo a utilizar técnicas de construção que fomentem o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Tijolo solo-cimento. Sustentabilidade. Fabricação. Execução.

ABSTRACT

SOUZA PEDRAL, Vitor Udson. **Estudo do tijolo ecológico: aspectos gerais e utilização na construção civil**. 57 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - Campus Aracaju. 2020.

The world and society increasingly demand sustainable methods in the face of civil construction. A viable alternative is the use of soil-cement brick, known as ecological brick, considered as a constructive element formed from the pressing of the mixture of soil, cement and water. The manufacture of this material is simple, practical and it is not necessary to carry out the burning procedure, promoting lesser impacts to the environment. In addition, the material allows the ability to reuse soil, waste and fibers that would be discarded during the construction of a work. The present work, based on bibliographic references, completely describes the process of making and executing these bricks, with the objective of collaborating with scientific research and encouraging the construction sector to use construction techniques that promote sustainable development.

Keywords: Soil-cement brick. Sustainability. Manufacturing. Execution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de Tijolos ecológicos.	19
Figura 2 – Ilustração 3D, em raio X, da estrutura do tijolo ecológico.	20
Figura 3 – Representatividade das forças de compressão do tijolo ecológico.	20
Figura 4 – Sistema de aplicação do tijolo.....	21
Figura 5 – Influência dos furos para o isolamento térmico e acústico.	21
Figura 6 - Imagem ilustrativa da condução de redes elétricas e hidráulicas.	22
Figura 7 – Imagem ilustrativa das colunas de sustentação.	22
Figura 8 – Exame visual.	24
Figura 9 – Exame Tátil.	25
Figura 10 – Exame Tátil.	26
Figura 11 – Exame da garrafa.	27
Figura 12 – Exame do charuto.....	27
Figura 13 – Imagem ilustrativa da influência da quantidade de areia e argila no tijolo ecológico.....	28
Figura 14 – Imagem ilustrativa do teste de pressionamento.	30
Figura 15 – Imagem ilustrativa do teste do esfarelamento.....	30
Figura 16 – Imagem ilustrativa do punhado com umidade ideal.	31
Figura 17 – Imagem ilustrativa do punhado com umidade excessiva.	31
Figura 18 – Imagem ilustrativa do punhado com umidade insuficiente.....	31
Figura 19 – Prensa manual mecânica.	32
Figura 20 – Prensa motorizada mecânica.	32
Figura 21 – Prensa motorizada hidráulica.	33
Figura 22 – Imagem ilustrativa representando as dimensões do tijolo ecológico.	34
Figura 23 – Barras de aço fundidas no radier.....	35
Figura 24 – Representação da primeira fiada.	35
Figura 25 – Aplicação do filete de cola branca ou argamassa com bisnaga.	36
Figura 26 – Execução da instalação hidráulica.	36
Figura 27 – Execução da instalação elétrica.....	37
Figura 28 – Bolsa de ar comprometendo a estrutura de colunas.	37
Figura 29 – Criação de sulcos com serra circular manual.	38
Figura 30 – Introdução de grampos e preenchimento do graute.	38
Figura 31 – Utilização do meio tijolo no encontro de duas paredes.....	39

Figura 32 – Amarração linear em paredes perpendiculares.	39
Figura 33 – Amarração triangular em paredes perpendiculares.	39
Figura 34 – Amarração de barras de aço com arame.	40
Figura 35 – Cinta de amarração substituindo a verga.	40
Figura 36 – Concretagem das camadas acima do isolamento.	41
Figura 37 – Aplicação de rejunte.....	42
Figura 38 – Utilização de um bastão com pontas arredondas para acabamento.	42
Figura 39 – Processo de regularização do reboco.	43
Figura 40 – Disposição das colunas de um muro de tijolo ecológico.	43
Figura 41 – Disposição das barras de aço ao longo de um muro de tijolo ecológico.	44
Figura 42 – Dobragem de barras de aço em um muro de tijolo ecológico.....	44

LISTA DE ABREVIACÕES

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AASHO – American Association of State Highway Officials
ASTM – American Society for Testing Materials
CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
CIB – The International Council for Research and Innovation in Building and Construction
HRB – Highway Research Board
LL – Limite de liquidez
LP – Limite de plasticidade
NBR – Norma Brasileira
PCA – Portland Cement Association
PVC – Policloreto de polivinila
RCC – Resíduos de Construção Civil
SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem
C – Comprimento
cm – Centímetro
e – Espessura mínima
H – Altura
h – Horas
L – Largura
m – Metro
mm – Milímetro
MPa – Mega Pascal
nº – Numeração ordinal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	OBJETIVO.....	9
2.1	OBJETIVO GERAL	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3	O SOLO-CIMENTO	10
3.1	ORIGEM E CONCEITO.....	10
3.2	VANTAGENS EM MISTURAR O SOLO E O CIMENTO	12
3.3	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E COMPORTAMENTO MECÂNICO	13
3.4	MATERIAIS INCORPORADOS AO SOLO-CIMENTO.....	17
4	O TIJOLO ECOLÓGICO	19
5	CONSTRUINDO COM TIJOLO ECOLÓGICO	24
5.1	A ESCOLHA DOS MATERIAIS	24
5.2	A FABRICAÇÃO.....	29
5.3	PROCESSO EXECUTIVO DA CONSTRUÇÃO	34
6	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o *The International Council for Research and Innovation in Building and Construction* – CIB (2002), as práticas construtivas ocasionam grandes impactos ambientais por utilizarem recursos naturais em todas as etapas da construção, que vai desde a fabricação dos materiais até a execução e finalização da obra, principalmente no passado quando não havia a preocupação em promover a sustentabilidade do meio ambiente.

Balbo (2007) afirma que, a construção civil – em processo de transformação – está mudando o modo de pensar e os métodos construtivos para soluções que tendem reduzir ao máximo os danos causados à natureza. Visto isso, manifesta-se, no fim dos anos 40, o solo-cimento como uma evolução de técnica construtiva do adobe e da taipa, sendo no início utilizado apenas em pavimentações. Porém, com o decorrer do tempo seu uso foi amplificado no setor da construção civil (BAUER, 1994).

O solo-cimento é originado a partir da mistura de solo, cimento e água, em proporções pré-definidas, e é a partir da prensagem dessa combinação – por meio de prensas hidráulicas ou manuais – que se configura o tijolo de solo-cimento. Esse material é também conhecido como tijolo ecológico ou modular por demonstrar ser uma alternativa viável para a promoção de um meio ambiente com menores agressões, se comparado à produção referente aos blocos de cerâmica e aos de concreto (MIELI, 2009).

Grande (2003) constata que na produção do tijolo ecológico o processo de queima não se faz necessário, bem como o sistema exige baixo consumo de energia para extrair a matéria-prima, além de melhorar a eficiência da logística pelo fato desses tijolos poderem ser produzidos *in loco*, utilizando o solo da obra. Para mais, é possível também a adição de materiais alternativos ao solo-cimento como fibras naturais, resíduos de pet, resíduos de construção civil (RCC) e entre outros; todos esses com o intuito de causar o melhoramento das propriedades mecânicas e, conseqüentemente, do comportamento final do tijolo ecológico, ocasionando ainda mais o incentivo à sustentabilidade.

Com isso, é notório que o estudo sobre o uso de materiais mais sustentáveis na construção civil tem tamanha importância, pois servem de respaldo técnico para o aproveitamento desses materiais. Por conseguinte, contribuem positivamente para a preservação do meio ambiente e ainda ocasiona a diminuição dos custos das obras. Ademais, ocorre também o decréscimo de gastos públicos, por meio dos municípios, uma vez que a “implantação de processos desta natureza pode significar redução do volume de material descartado e minimização da deposição em locais inadequados” (SOUZA, 2006).

Diante deste contexto, o presente trabalho busca apresentar a literatura sobre o uso de tijolos ecológicos na construção civil e seus aspectos gerais, partindo do surgimento e conceito do material solo-cimento até a descrição dos processos de fabricação e execução desses tijolos. Tudo isso, com a finalidade de contribuir com a pesquisa científica através de informações que possam subsidiar outros pesquisadores com vistas a fomentar e consolidar novos conhecimentos científicos nesse tema, bem como incentivar a utilização desse material no âmbito da construção civil.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em apresentar uma revisão bibliográfica sobre o estudo e o uso de tijolos ecológicos na construção civil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para fundamentar esse propósito foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar alternativa sustentável no âmbito da construção;
- Discutir a respeito do solo-cimento;
- Apresentar materiais capazes de serem reaproveitados quando misturados ao solo-cimento;
- Explicitar acerca do uso do tijolo ecológico;
- Descrever o processo de fabricação do tijolo ecológico;
- Pormenorizar o processo executivo de construção com tijolo ecológico;
- Analisar o uso do tijolo ecológico na construção civil.

3 O SOLO-CIMENTO

3.1 ORIGEM E CONCEITO

O solo é um material facilmente encontrado na natureza, de forma abundante e tem sido empregado nas construções desde a antiguidade, sendo que a utilização do solo melhorado é uma das técnicas populares mais antigas (LIMA, 2010).

Uma das formas de se melhorar o solo é partir da mistura homogênea - compactada e curada - de solo, cimento e água nas devidas proporções. Essa mistura é conhecida como solo-cimento e este material apresenta diversas características, como: boa resistência à compressão, baixo índice de permeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade (ABCP, 1986).

Segundo Bauer (1994), as notícias mais antigas sobre o surgimento da aplicação do solo-cimento na construção civil relatam que aconteceu no século III na muralha da China e em diversas obras espalhadas pelo mundo, com a construção de fundações. Além disso, afirma também que existem controvérsias no que se refere à descoberta desse material.

Conforme a *Cement and Concret Association* apud Bauer (1994), ao sul da Inglaterra, foi o engenheiro inglês chamado Brook-Bradley que descobriu o solo-cimento, utilizando-o no tratamento de leitos de estradas e pistas para veículos puxados por cavalo. Já para os americanos, a descoberta foi feita pelo engenheiro T.H. Amies em 1917, empregando o solo-cimento com o nome de soloamies (BAUER, 1994).

Ademais, de acordo com Abiko (1983), foi o engenheiro Bert Reno o primeiro a usar o solo-cimento nos Estados Unidos em 1915, pavimentando uma rua a partir da mistura de areia, cimento e conchas marinhas. Assim, Pitta (1979) apud Bauer (1994) afirma que em 1920 o solo-cimento foi patenteado, porém não pode ser colocado em prática por não ter como prever o seu comportamento pela escassez de conhecimentos sobre a Mecânica dos Solos.

Mais tarde em 1929, Ralph Proctor propiciou o desenvolvimento do solo-cimento para diversos tipos de construções ao descobrir a relação entre umidade e peso específico aparente na compactação de solos. Entretanto, foi em 1932, nos Estados Unidos, que foram feitos os estudos iniciais do solo-cimento em grande escala, realizados por Moore-Fields e Mill (BAUER, 1994).

De acordo com Segantini e Alcântara (2007), esses estudos e pesquisas também aconteceram em 1935 pela *Portland Cement Association* (PCA). No Brasil, o uso do solo-cimento começou a ganhar importância em 1936 a partir de pesquisas efetuadas e

regulamentadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (FERRAZ e SEGANTINI, 2003).

A normalização dos ensaios foi iniciada em 1944 pela *American Society for Testing Materials* (ASTM) e posteriormente pela *American Association of State Highway Officials* (AASHTO), como também pela *Portland Cement Association* (PCA). Além disso, os estudos foram abrangidos pela Europa, destacando a Alemanha com a construção de aeroportos na época da guerra, bem como a Inglaterra e a América do Sul, com ênfase no Brasil, Argentina e Colômbia (BAUER, 1994).

Conforme Machado (1978), a rodovia construída em Johnsonville, cidade norte-americana localizada no estado da Carolina do Sul, em 1935, foi o projeto pioneiro para pavimentação com solo-cimento, o qual ainda hoje atende as condições de tráfego local. No Brasil, a primeira experiência aconteceu em 1942 com a execução no aeroporto de Petrolina e a estrada de Caxambu até Areias.

De acordo com Senço (1995), o estado de São Paulo contém aproximadamente vinte mil quilômetros de estabilização de solo com cimento, entre base e sub-base, onde a rodovia Presidente Castelo Branco, com 15cm de espessura, possui a sub-base com o teor de 8% de cimento, representado em volume, e a base com teor de 10% de cimento.

Para Bauer (1994), foi em 1945 que surgiu a primeira obra com uso de solo-cimento no Brasil, localizada em Santarém, no estado do Paraná, onde foi construída uma casa de bombas para abastecer as obras de um aeroporto. À posteriori, ergueram-se casas residenciais com paredes monolíticas de solo-cimento situadas em Petrópolis no Rio de Janeiro, sem esquecer também da construção do Hospital Adriano Jorge, em Manaus, no ano de 1948. O autor ainda descreve que as “inspeções feitas nas primeiras obras de solo-cimento no Brasil demonstraram que elas continuam em perfeito estado de conservação”.

Nessas inspeções, constatou-se que o solo-cimento propiciou ganho na resistência do material, bem como apresentou um custo-benefício mais eficiente, já que no hospital de Manaus a resistência foi de 2,6 MPa para 3,2 MPa com o teor de cimento de 6% e as paredes monolíticas de solo-cimento, tornaram-se 12% mais baratas em relação às construídas em alvenaria para a época (BAUER, 1994).

Dessa maneira, em 1977, de acordo com Grande (2003), houve uma intensificação das pesquisas sobre os tijolos de solo-cimento compactados e a partir disso, diversos fabricantes iniciaram o desenvolvimento de prensas manuais e hidráulicas para executar a fabricação desses tijolos. Assim, Ferraz e Segantini (2003) revela que em 1978 esse produto foi aplicado de forma abundante em moradias por ter sido aprovado o uso pelo Banco Nacional da Habitação,

fundamentado em estudos pelo Instituto de Pesquisas Técnicas e pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, nos quais foram constatados o desempenho favorável e a possível diminuição dos custos.

3.2 VANTAGENS EM MISTURAR O SOLO E O CIMENTO

É através de soluções sustentáveis que a construção civil busca reduzir os impactos ambientais causados pelo consumo de matérias-primas e pela falta de reaproveitamento dos materiais descartados. Paliari e De Souza (1999) evidenciam a importância de contemplar políticas focadas em amenizar essas perdas de materiais, tanto em canteiro de obras como em toda cadeia produtiva. Assim, destaca-se a necessidade da criação de métodos, fundamentados em dados representativos, alternativos que tornem o ambiente da construção civil mais sustentável.

Um desses métodos é a utilização do solo-cimento na construção civil, apresentando inúmeras vantagens. A primeira delas é exposta pela ABCP (1987), em que a aplicação do método com as construções de habitações populares proporciona uma economia que pode alcançar até 40% do custo total da obra, pois o solo compõe 85% em massa do componente solo-cimento, fator basilar para contribuir com a redução dos custos, e ainda se pode empregar quase todos os tipos de solo. Entretanto, vale ressaltar que os solos economicamente viáveis são restritos aos que necessitam de baixos teores de cimento.

Além disso, outras vantagens que o solo-cimento pode apresentar são: gastos com transporte e energia reduzidos, perspectiva da utilização de mão-de-obra não qualificada, possibilidade de reaproveitamento de solos que seriam descartados em escavações e a capacidade de tornar utilizável solos que não seriam pertinentes na construção civil (ABCP, 1987).

No que se refere às características técnicas, a ABCP (1986) relata que o solo-cimento atende completamente aos requisitos de desempenho. Contudo, segundo a ABNT NBR 10833:2012 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento, são diversos os fatores que podem induzir nas características do solo-cimento.

3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E COMPORTAMENTO MECÂNICO

O solo-cimento é formado a partir de proporções determinadas, dos elementos antecessores à mistura, por meio de dosagem e execução de acordo com a norma ABNT NBR 12253:2012 – Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento – Método de ensaio. O resultado final do produto pode variar conforme o doseamento dos materiais, a natureza do solo, o teor de umidade e a compactação ou prensagem. Ademais, a coesão do solo-cimento é definida pela composição do cimento, finura, quantidade de água e temperatura ambiente (BAUER, 1994).

Para a relação solo e cimento, existem três tipos de categorias de estabilização: solo-cimento plástico, solo modificado e solo-cimento. Os mecanismos de estabilização do solo são versáteis, pois tendem a apresentarem diversas variáveis, sendo necessário que a seleção do solo possua as características fundamentais, observando a cor, a textura e a plasticidade como indicativos de qualidade, sem esquecer da cura, densidade e mistura do solo com o cimento, realizadas de maneira adequada, e ainda verificar a questão do tempo de compactação. Tudo isso para se obter um solo estabilizado apropriado (BURIOL, 2002).

Entretanto, Segantini (2000), diz que em certos tipos de solo há limitações ligadas ao consumo de cimento e trabalhabilidade, este expressado pelas variantes dos limites de consistência – como o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP).

Dessa forma, Baptista (1976) relata que o índice de plasticidade diminui quando se adiciona baixas quantidades de cimento. Esse abaixamento ocorre por conta do aumento do valor do limite de plasticidade e pela redução do limite de liquidez. Assim, as mudanças de volume do solo são reduzidas, além de aumentar a capacidade de suporte do solo. Com isso, Lopes (2002), assegura que o teor mínimo de cimento mantém a estabilidade e garante as características presentes no solo-cimento. Em virtude disso, Senço (2001) diz que é possível atingir uma resistência elevada, ainda com baixos teores de cimento, desde que o solo tenha uma boa qualidade.

Lopes (2002) acrescenta que ao se misturar solos arenosos com cimento, há depender da composição e das propriedades químicas, pode haver reações diferentes, sendo que o teor de impureza de matéria orgânica máximo é de 2%, acima disso pode inibir a hidratação do cimento.

Todavia, quando se trata de granulometria, os solos arenosos são os mais indicados, pois a existência de grãos de areia grossa e pedregulhos trazem consigo benefícios por serem materiais inertes e com a funcionalidade de enchimento, favorecendo a liberação de cimento

para aglomerarem nos grãos menores em quantidades maiores. É importante também levar em conta o teor de fração fina mínima, devido à coesão da fração fina compactada ser relacionada com a resistência inicial do solo-cimento (SEGANTINI, 2000).

Para solos finos, conforme Lopes (2002), por possuírem uma maior superfície específica, é necessária uma quantidade maior de cimento, em comparação aos solos grossos, para atingir a estabilização. Ademais, Segantini (2000) demonstra que quando os solos têm um teor de silte e argila, juntos, menor que 20% não há resistência inicial adequada para a compactação.

Com isso, os solos mais propícios para a formação do solo-cimento são as argilas arenosas com teor de areia entre 45% e 50%, desde que não haja a presença de matéria orgânica que apresente características de coloração cinza escuro ou preta (CARDOSO et al. 2002).

Em síntese, os solos mais adequados para estabilização com cimento são recomendados pela ABCP (1986) e devem apresentar as seguintes características:

- 100% dos grãos passando pela peneira nº4 (4,8mm);
- De 10 a 15% dos grãos passando pela peneira nº 20 (0,075mm);
- Limite de liquidez igual ou inferior a 45%;
- Índice de plasticidade igual ou inferior a 18%.

Além disso, conforme Segantini (1994), as faixas granulométricas, para critérios de seleção do solo concordantes entre diversos autores, para variados tipos de solo são:

- Areia de 45% a 90%;
- Silte de 10 a 30%;
- Argila de 5 a 30%;
- Silte + Argila de 10 a 55%;
- Limite de liquidez de 45 a 55%.

Lopes (2002) acrescenta que para solos arenosos e pedregulhosos com aproximadamente 65% de areia e entre 10 a 35% de teor de silte e argila, juntos, obtêm-se solo-cimento de boa qualidade. Já para solos arenosos deficientes em finos, requer maior quantidade de cimento, mas ainda produzindo bons resultados. Entretanto, para os solos siltosos e argilosos, faz-se necessário teores elevados de cimento para atingir a estabilização de forma satisfatória o suficiente para executar o material solo-cimento.

No que concerne aos aspectos qualitativos do solo-cimento, segundo Mercado (1990), esses são influenciados por:

- Tipo de solo;
- Teor de cimento;
- Método de mistura;
- Compactação.

Blücher (1951) evidencia que o tipo de solo é o aspecto de maior impacto para determinar a qualidade do produto final. A depender da composição, o solo – elemento de carga – pode ser o fator determinante para a análise da viabilidade econômica quando estabilizado com cimento, facilitando os procedimentos de mistura e manuseio (MERCADO, 1990).

Grande (2003) atenta também para a relevância da composição química do solo, devido aos sais solúveis poderem gerar reações expansivas na pasta de cimento. Além disso, Parente (2002) relata que o teor de cimento, ao ser incrementando com variados de tipos de solos, concebe o crescimento da resistência mecânica e da durabilidade do produto. Não obstante, Sabbag (1980) afirma que quando as condições de cura forem insatisfatórias e o teor de cimento for demasiadamente elevado, acarretará no aparecimento de fissuras originárias da retração por secagem, sendo o processo de cura um fator determinante para a qualidade do solo-cimento.

No que tange aos métodos de mistura, consoante Blücher (1951) as misturas gerenciadas em laboratório apresentam maior durabilidade e maior resistência quando comparado as misturas realizadas em campo. Dessa forma, a ABCP (1986) determina os procedimentos para efetuar a mistura do solo-cimento, visando a produção de blocos, tijolos ou painéis de parede. A metodologia consiste em:

1. Preparação do solo, por meio do destorroamento, e peneiramento do solo seco;
2. Preparação da mistura entre o solo, o cimento e adições de água, a fim de homogeneizar o material até atingir uma uniformidade para com a umidade do solo;
3. Moldagem, cura e armazenamento.

Consequentemente, Grande (2003) explica que para se obter um material de solo-cimento apropriado, com resistência mecânica adequada e o peso específico desejado, é impreterível realizar uma boa compactação, identificando a influência do teor de umidade.

Além dos aspectos qualitativos citados, Abiko (1987) demonstra que as reações químicas na interação entre o solo e o cimento também podem interferir na qualidade do material, implicando em dois tipos de processo. O primeiro é formado por silicatos e aluminatos

hidratados, produtos das reações de hidratação do cimento Portland. O segundo são reações entre os argilominerais liberados na hidratação do cimento.

Com isso, é na hidratação do cimento que ocorrem mudanças de carga elétrica no meio argiloso, através da troca de cátions, gerando atração entre partículas e tornando-as em partículas maiores que resultam na redução de plasticidade da mistura (SILVA, 1994).

Em outras palavras, as reações de hidratação do cimento são amplificadas e, por conseguinte, há o crescimento da cimentação. A cimentação é conceituada como a ligação ou encadeamento químico entre grãos de cimento adjacentes ou partículas de solo próximas. As partículas geradas reagem com o silte ou a areia fina, que apresentam plasticidade reduzida a depender do tipo de solo, das características da argila, do tempo de repouso da mistura, da porcentagem de finos e dos teores de cimento e umidade (PITTA, 1995).

Referente a dosagem do solo-cimento, essa é respaldada em sucessivos ensaios unidos às análises, fundamentadas em parâmetros deliberados pela experiência, observando o teor de cimento, a umidade e a massa específica. Para os métodos de dosagem, ao fixar os valores da umidade e da massa específica, estes passam a ser critérios de controle da mistura, enquanto o teor de cimento é o objetivo principal para atingir a dosagem pretendida (ABCP, 1986).

Conforme Buriol (2002), esses cuidados especiais na dosagem precisam ser obedecidos para garantir a durabilidade e a resistência do produto. Assim, para atingir o teor de cimento ideal são efetuadas as análises comportamentais de corpos-de-prova com os mais variados teores ensaiados, a fim de atingir as propriedades desejadas, bem como assegurar a economia relacionada a composição ideal a ser empregada em determinado caso.

Após realizarem estudos comparativos entre métodos de dosagem, Ferraz et al. (2001) conclui que mesmo havendo rigor nos ensaios, não necessariamente resultará na obtenção de uma mistura de boa qualidade, apresentando variantes como teor de umidade, compactação, modo de operação da mistura, condições de cura e o tempo utilizado. Desse modo, o método de dosagem está vinculado às especificações de valores mínimos de resistência à compressão tal como a absorção de água, regulados em norma, para o solo-cimento que é atribuído à construção de paredes monolíticas ou moldagem de tijolos ou blocos.

Quanto ao comportamento mecânico do solo-cimento, de acordo com Senço (2001), em um estudo mais abrangente, não é somente solos de boa qualidade que podem conseguir alta resistência com baixos teores de cimento, mas também qualquer material que evidencia resultados positivos nos ensaios específicos para as misturas.

Lopes (2002) salienta que a resistência à compressão é utilizada como parâmetro tecnológico para detalhar a mistura de solo-cimento-água, a pega relativa e a velocidade de

hidratação do cimento. Sendo, a resistência à compressão, conforme Pitta (1995), função direta dos elos externos cimentados, cujas partículas finas contribuem muito pouco para que haja aumento de resistência. Dessa maneira, necessita-se de acréscimos na quantia de cimento, com a finalidade de reduzir a plasticidade do meio.

Acerca da absorção de água, Ferreira (2003), em pesquisas, demonstra que o solo arenoso com qualidade superior ao argiloso, promove um comportamento mais adequado do solo em relação à água. Além disso, para solos finos, utilizando os mesmos teores de cimento dos solos arenosos, os valores de resistência à compressão se apresentaram relativamente baixos.

A norma regulamentadora que determina os valores de resistência à compressão e absorção é a ABNT NBR 8492:2012– Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Esta norma evidencia que os valores limites, até os 28 dias, para a resistência a compressão devem ser superiores ou igual à média de 2 Mpa e superior ou igual a 1,7 Mpa, analisado individualmente. Já para a absorção de água, os limites devem ser inferiores ou igual a 20%, em média, e inferiores ou igual a 22%, quando analisado de modo individual.

Ferreira (2003) acrescenta que a energia de compactação, o teor de umidade e a textura do solo são aspectos atuantes nos resultados da resistência do material, além da natureza e do teor do aglomerante complementado.

3.4 MATERIAIS INCORPORADOS AO SOLO-CIMENTO

Com a tendência ao desprovimento dos recursos naturais e a indispensável preservação do meio ambiente, faz-se obrigatório a reciclagem e o aproveitamento de resíduos ou diversos materiais incorporados ao solo-cimento. Dentre a incorporação desses materiais, temos a mistura com: resíduos de marmoraria, resíduo de pet, sílica ativa, resíduos de construção e demolição, fibras de coco e entre outros. Na literatura pode-se encontrar diversos estudos científicos sobre o tema, entre alguns trabalhos estão os de Lima (2010), Sena et al. (2017), Grande (2003), Segantini (2011), Freire (2003) e Hejazi et al. (2012).

Lima (2010) analisou a viabilidade técnica da incorporação de resíduos de mármore e granito em solo-cimento e concluiu que a adição dos resíduos propiciou condições para a produção de solo-cimento com qualidade, reduzindo o consumo do cimento e a utilização de água, devido ao aumento de absorção.

Sena et al. (2017) avaliou o comportamento mecânico do solo-cimento com resíduo de pet e apresentou resultados satisfatórios. Foram percebidas melhorias na resistência à

compressão média e a absorção de água respeitou a norma vigente, afirmando ser viável a fabricação de tijolos solo-cimento com incorporação dos resíduos.

Grande (2003) fez estudos de avaliação de desempenho do solo-cimento com adição de sílica ativa. O autor constatou que a mistura é benéfica, ainda que haja mudanças significativas na evolução da resistência, devido as alterações na cinética das reações entre os constituintes. Os resultados dos ensaios atestaram que a cinética da hidratação do cimento, modificada pela adição de sílica, permitiu o material se comportar bem em uma simulação de variações bruscas e contínuas de umidade e temperatura, instaurando a possibilidade de extrapolar a utilização do material para atender a outros requisitos de projeto.

Segantini (2011) pesquisou sobre a adição de resíduos de construção e demolição ao solo-cimento e averiguou que o produto é uma excelente matriz para o aproveitamento desses resíduos, podendo adicionar até 100% do resíduo em relação à massa de solo, sem haver prejuízo de qualidade. A adição incrementou uma acentuada redução na retração do material, a qual favoreceu o desempenho das alvenarias de vedação. No que diz respeito à resistência à compressão, a mistura se comportou positivamente, incluindo a redução do consumo de cimento.

Segundo Freire (2003), o emprego da fibra de coco em solos com alto teor de argila para evitar fissuras é uma prática corriqueira desde a antiguidade. De acordo com Senhoras (2003), esse material vem sendo bastante pesquisado com o propósito de ser empregado na formação de biocompósitos, por apresentarem um bom custo x benefício, além de ser renovável e natural. Ademais, vale ressaltar a atuação desse componente como um reforço, aprimorando as propriedades mecânicas de resistência à tração, tensão e alongação na ruptura.

Conforme Hejazi et al. (2012), as fibras de coco são compostas de substâncias solúveis em água, lignina, celulose, cera, pectina e entre outras. Em vista disso, um dos motivos que faz a fibra de coco ser uma boa escolha para a mistura de materiais na construção civil é a alta concentração de lignina, a qual propicia que a sua degradação ocorra de maneira mais lenta quando comparada com outras fibras vegetais, destacando-se assim pela boa durabilidade, mesmo que ainda apresente desvantagens, em relação a outras fibras, no que se diz respeito à resistência à tração e ao módulo de elasticidade (MOTTA e AGOPYAN, 2007).

4 O TIJOLO ECOLÓGICO

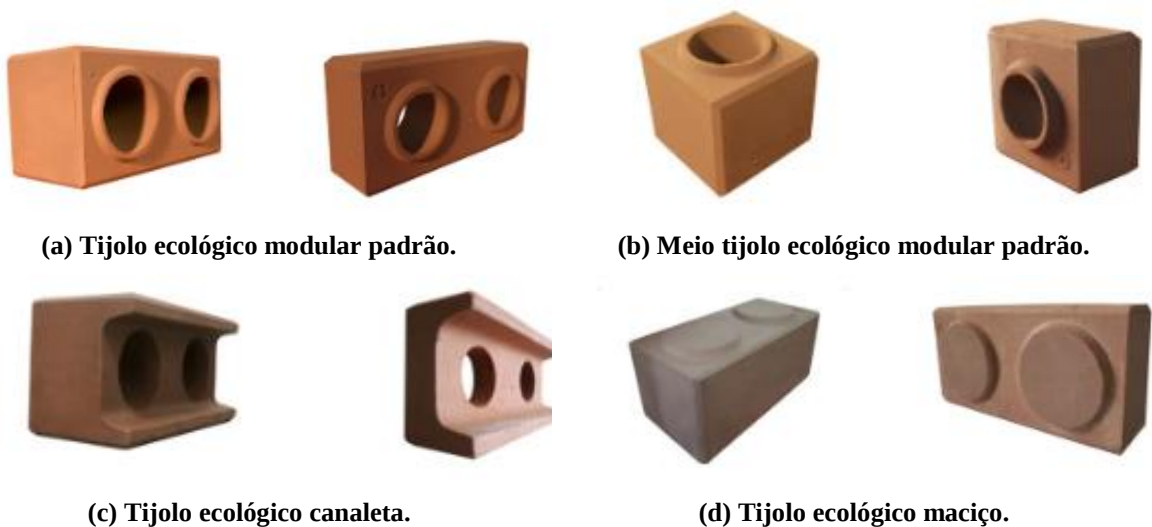
A elaboração do tijolo de solo-cimento é tida como um modo inteligente de construção eficiente e ecológica, que confere qualidade, economia e estética, atendendo aos padrões exigidos pelas Normas Técnicas (SANTOS et al., 2009).

Conforme Sala (2006), o tijolo de solo-cimento é conhecido também como tijolo ecológico ou tijolo modular. O tijolo é originado a partir da prensa da mistura de solo, cimento e água. Dessa forma, dispensa a queima em forno à lenha, evitando desmatamentos e a poluição do ar, por não liberar resíduos tóxicos, e demanda de pouca energia durante a fabricação em relação a outros tipos de tijolos.

Além disso, os materiais para a produção dos tijolos podem ser encontrados em local de obra, assim como podem ser confeccionados, economizando no transporte. Com isso, em virtude do baixo custo em sua produção e ainda por possuir matéria-prima abundante em todo planeta, torna-se evidente a sustentabilidade desse produto (SEGANTINI, 2010).

Ademais, Pisani (2005) cita que há uma diversidade de tamanhos e modelos de tijolos de solo-cimento. Os modelos de tijolos ecológicos podem ser: tijolo modular padrão, meio tijolo modular padrão, tijolo canaleta e tijolo maciço (Figura 1). A seleção de cada tipo deve ser conforme o projeto, a mão-de-obra, os materiais e os equipamentos dispostos. O autor também ressalta que tijolos com dimensões diferentes, empregam-se dosagens proporcionalmente diferentes e que o processo de prensagem deve ser realizado cautelosamente, com o objetivo de que as faces externas obtenham a resistência e textura almejada.

Figura 1 – Tipos de Tijolos ecológicos.

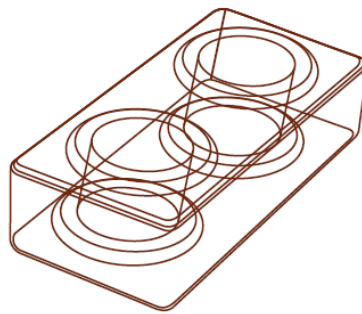


Fonte: Ecomáquinas, 2020.

Conforme Santos (2009), os tijolos ecológicos podem tirar o proveito da possibilidade de adicionar outros materiais. Com isso, materiais de descarte podem ser reutilizados, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da construção civil. A reutilização e o reaproveitamento desses resíduos são fundamentais para o desenvolvimento do Brasil, pois 50% dos resíduos gerados são originários dos setores construtivos.

De acordo com a ABNT NBR 8491:2012 – Tijolo de solo-cimento – Requisitos, o tijolo de solo-cimento é definido como o elemento de alvenaria de volume inferior a 85% de seu volume total aparente, de espessura mínima das paredes e no entorno de 25mm, constituído pela mistura de solo, cimento Portland, água e eventuais aditivos, de forma homogênea, endurecida e compacta, possuindo dois furos na direção de prensagem com distância mínima entre eles de 50mm. A figura 2 representa o formato estrutural do tijolo ecológico.

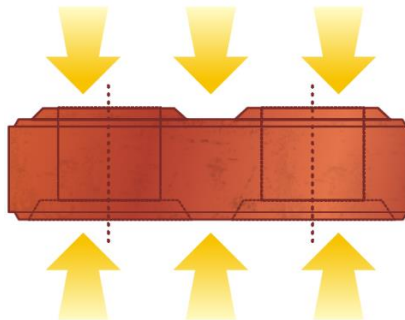
Figura 2 – Ilustração 3D, em raio X, da estrutura do tijolo ecológico.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Para mais, esse elemento dispõe de boa durabilidade, boa resistência à compressão, baixa retração volumétrica e baixo índice de permeabilidade. Além disso, deve-se frisar que os solos ideais para realizar a mistura são os que demonstram uma curva granulométrica bem distribuída, livres de matéria orgânica (CEBRACE, 1981).

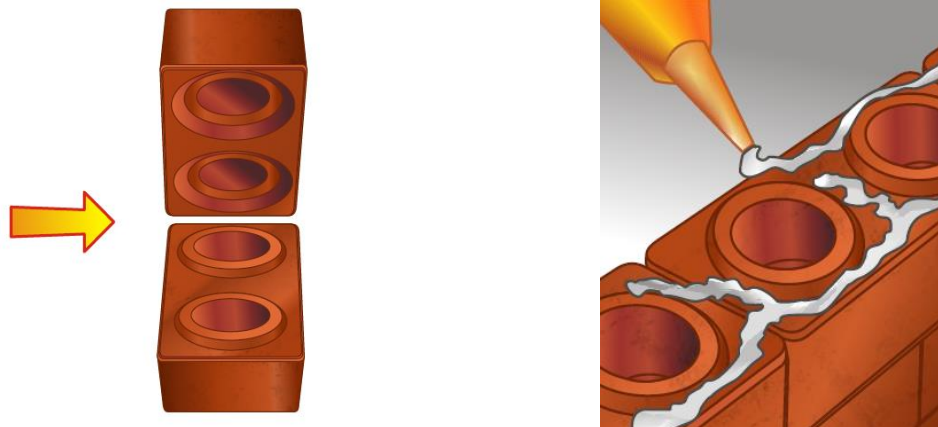
Figura 3 – Representatividade das forças de compressão do tijolo ecológico.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Assis (1995) ressalta que o processo de moldagem dos tijolos ecológicos viabiliza a consecução de um design distinto, assegurando de forma regular as dimensões do material, bem como permitindo que os encaixes restrinjam a utilização da argamassa de assentamento em filetes, podendo até não a utilizar. Além da argamassa, pode-se fazer uso da cola branca, também em filetes. A argamassa ou a cola tem a funcionalidade de correção para eventuais irregularidades, ainda que o sistema de encaixe auxilie na orientação de assentamento dos tijolos. A figura 4 apresenta o sistema de aplicação do tijolo.

Figura 4 – Sistema de aplicação do tijolo.



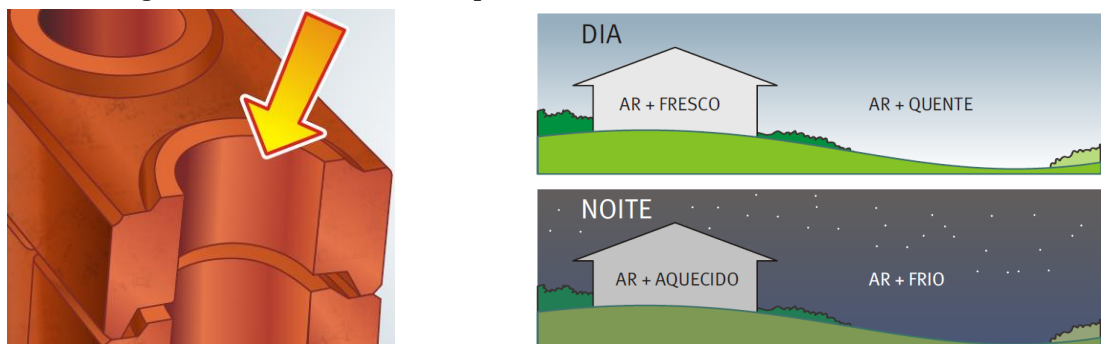
(1) Sistema de encaixe do tijolo ecológico.

(2) Aplicação de cola/argamassa.

Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Em adição, Santos (2009) cita que os furos, característicos dos tijolos modulares, formam câmaras de ar que contribuem para o isolamento térmico e acústico, representados na figura 5. Além disso, é através desses orifícios que são feitas as instalações elétricas e hidráulicas, ilustradas na figura 6, evitando a quebra de paredes. Para colunas, pilares e vigas, as aberturas dos tijolos são preenchidas com concreto, consoante figura 7, dispensando assim a utilização das formas de madeira.

Figura 5 – Influência dos furos para o isolamento térmico e acústico.



(1) Aberturas do tijolo ecológico modular padrão.

(2) Troca de calor dia e noite.

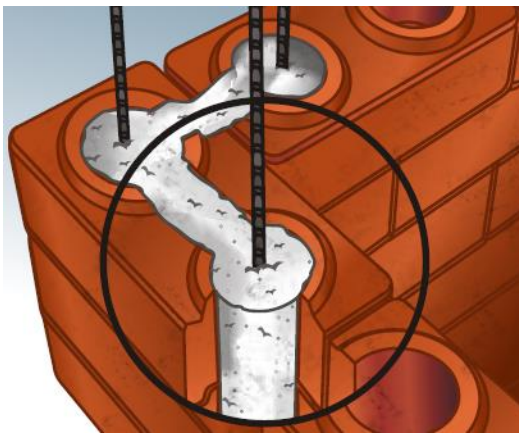
Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 6 - Imagem ilustrativa da condução de redes elétricas e hidráulicas.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 7 – Imagem ilustrativa das colunas de sustentação.



(1) Vista superior.



(2) Vista interior lateral.

Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento – CEPED (1985) afirma que além dos materiais para a fabricação do tijolo de solo-cimento serem facilmente obtidos, também possuem baixos investimentos em equipamentos, por possuírem um sistema construtivo simplificado.

A produção dos tijolos modulares por sistemas manuais ou automatizados propiciam, de forma comprovada com a realização de programas habitacionais através de mutirão e administração direta, a facilidade de aprendizado para a utilização da tecnologia dos equipamentos, bem como a mão-de-obra familiar com o sistema construtivo de alvenaria (NEVES, 1989).

Conforme a Cartilha Produção de Tijolos de Solo-cimento (2016), o processo de fabricação do tijolo ecológico, apresenta as etapas de: preparação do solo, preparo da mistura, moldagem dos tijolos, cura e armazenamento.

Outrossim, faz-se necessário evidenciar os fatores condicionantes para a qualidade do solo-cimento, como: o método de mistura, o teor de cimento, a compactação e o tipo de solo.

Entretanto, é o solo que vai determinar se a prática é viável, em termos econômicos, de acordo com a sua composição, além de ser o elemento de carga (MERCADO, 1990).

Quanto ao método de mistura para a produção dos tijolos modulares, conforme a ABCP (1986), é fundamental executar a preparação do solo - destorroando e peneirando o solo seco - e a preparação da mistura - a partir da adição do cimento ao solo já preparado. Assim, quando os materiais secos estiverem homogeneizados, deve-se adicionar água para então efetuar a mistura mais uma vez até atingir a uniformização. Após isso, faz-se a moldagem, atentando para que após 6 horas inicie-se o processo da cura, mantendo os blocos úmidos através de sucessivas molhagens.

Para o teor de cimento, pesquisas demonstram o comportamento diretamente relacionado entre o aumento da resistência à compressão e durabilidade para com o aumento do teor desse material. Todavia, ao passo que o teor de cimento se torna excessivo, somados ao processo de cura realizado de modo inapropriado, eventualmente irão despontar fissuras por motivos de retração (SABBAG, 1980).

De acordo com Grande (2003), no que tange à compactação da mistura, este é um fator primordial para assegurar que o material alcance o peso específico necessário para a obtenção da resistência mecânica ideal para a atividade predestinada.

5 CONSTRUINDO COM TIJOLO ECOLÓGICO

5.1 A ESCOLHA DOS MATERIAIS

Segundo a Cartilha Produção de Tijolos de Solo-cimento (2016), não é todo tipo de solo que é capaz de fabricar o tijolo ecológico, pois há uma diversidade muito grande quanto a composição do solo e tamanho dos grãos. Por isso, a cartilha recomenda uma série de análises preliminares para a fabricação do tijolo de solo-cimento que consistem em diversos tipos de exames, como:

- Exame visual: tem o objetivo de verificar a cor, a composição e o tamanho dos grãos da amostra. O procedimento é realizado por meio do exame de uma amostra em estado seco e na observância dos componentes arenosos e argilosos, a porção fina é composta por partículas inferiores a 0,08mm que não é vista a olho nu (Figura 8).

Figura 8 – Exame visual.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

- Exame de odor: visa detectar a presença de matéria orgânica na amostra. O procedimento é através do cheiro exalado pela amostra. Se conter odor de húmus, significa que existem elementos orgânicos, esse odor se intensifica caso o material seja aquecido ou umedecido. Dessa forma, esse tipo de solo não será apropriado para a construção.

- Exame tátil: com o objetivo de identificar a composição do tamanho dos grãos do material, a fração fina, deve-se triturar a amostra entre os dedos e a palma da mão (Figura 9). Para solo arenoso, a sensação é de rugosidade e o material não é pegajoso, sendo fácil de moer. Para solo limoso, há uma ligeira impressão de rugosidade, sendo fácil de gerar um pó fino, e a amostra úmida evidencia uma plasticidade média. Para solo argiloso, apresenta torrões no estado seco, que resistem à compressão, e no estado úmido absorve a água de maneira lenta, se transformando em uma massa plástica e colante.

Figura 9 – Exame tátil.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

- Exame de água corrente: visa identificar a proporção de finos da amostra. O procedimento consiste em lavar as mãos após esfregá-las com a terra ligeiramente úmida, sendo que a pressão da água não deve ser muito forte. Para solo arenoso, será fácil de enxaguar as mãos. Para solo limoso, a sensação é de seca e as mãos não são difíceis de enxaguar. Para solo argiloso, há uma aparência esponjosa e é muito difícil de enxaguar as mãos.
- Exame de aderência: objetiva verificar a quantidade de argila na amostra. Com isso, coleta-se um pouco de solo úmido que não se adere aos dedos e corta com uma espátula (Figura 10). Caso o solo seja bem argiloso, a espátula irá penetrá-la sem dificuldades. Se o solo é pouco argiloso, a espátula penetra e se retira com facilidade mesmo quando manchada pela terra.

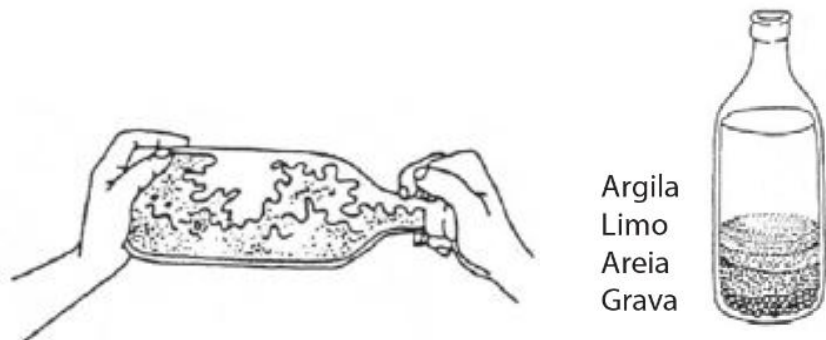
Figura 10 – Exame de aderência.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

- Exame da caixa: tem como propósito descobrir se o solo é adequado para uso. Para isso, faz-se necessário misturar uma parte da amostra de terra peneirada e seca com a água até ocorrer o grude na colher de pedreiro. Essa mistura deve ser colocada em uma caixa de madeira com dimensões internas de 60cm x 3,5cm x 8,5cm. A parte interna da caixa deve ser untada com óleo ou desformante comercial. Ao preencher a forma, deve-se pressionar e alisar a superfície, atentando-se para não criar nenhum espaço vazio no interior da massa. A caixa deve ser regada todos os dias, durante 7 dias e deixada em ambiente fechado e protegido da chuva e do sol. Posteriormente, é preciso medir a retração ocorrida no sentido do comprimento da caixa e nos outros dois lados. A três medidas devem ser somadas e se o valor ficar abaixo de 2cm e não surgirem trincas no corpo de prova, isso significa que o solo é adequado para uso.
- Exame da garrafa: o objetivo é determinar a permeabilidade do solo de forma aproximada. Para isso, preenche um quarto do volume de uma garrafa transparente com o solo e adiciona água lentamente até completar (Figura 11). Em seguida, faz-se o registro do tempo em que a água leva para chegar ao fundo da garrafa. Posteriormente, mistura-se bem o material e aguarda o repouso por 45 minutos. Com isso, nota-se a proporção de cada um dos componentes do solo, tornando-se fácil a identificação dos componentes mais grãos do solo, porém as partículas inferiores a 1mm são mais difíceis de observar.

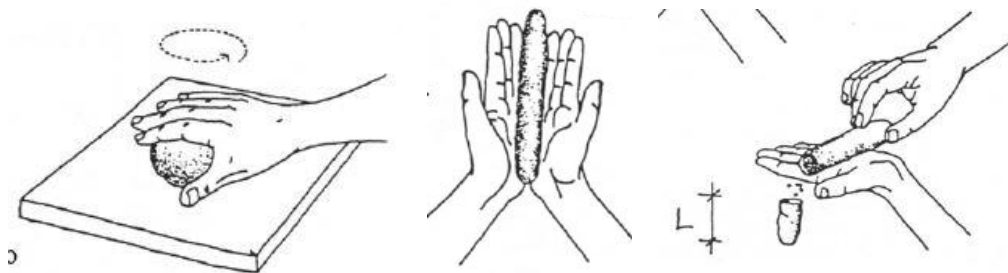
Figura 11 – Exame da garrafa.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

- Exame do charuto: visa determinar a coesão do solo ao verificar se a quantidade de argila no solo é adequada para a fabricação do tijolo ecológico. O procedimento consiste em eliminar os grãos superiores a 5mm e misturar uma parte do solo com água e fabricar um “charuto” de 3cm de espessura, deslizando lentamente para fora da mão até ocorrer a quebra e fazer a medição do comprimento da parte que quebrou (Figura 12). Assim, repete-se o exame diversas vezes, tomando os mesmos parâmetros, a fim de descobrir o tipo de solo da amostra ao verificar o comprimento. Se inferior a 5cm, o solo é arenoso. Se superior a 20cm, o solo é argiloso. Para a fabricação do tijolo solo-cimento é preciso que o comprimento esteja entre 5 e 12cm.

Figura 12 – Exame do charuto.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

- Exame de contração: com o objetivo de verificar a atividade expansiva da argila, fabrica-se um bloco e mede as dimensões. Após isso, aguarda o bloco secar por 24h e faz as medidas novamente. A contração não deve superar 5mm, caso supere deve misturar o solo com areia.

Após as análises preliminares, executa-se os ensaios de caracterização em laboratório, conforme a ABNT NBR 6457:2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, que identificam o tipo de solo, avaliando parâmetros

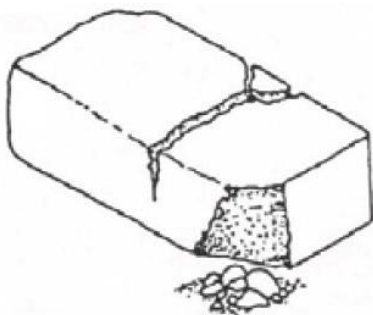
como: distribuição granulométrica, massa específica real, limites de Atteberg (limite de liquidez e limite de plasticidade), coeficiente de uniformidade, coeficiente de curvatura, índice de suporte Califórnia, umidade ótima, densidade seca máxima, classificação do solo através do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) e através da classificação Highway Research Board (HRB).

Além disso, a ABNT NBR 10833:2012 relata que o solo não deve possuir matéria orgânica em quantidade que prejudique a hidratação do cimento e precisa respeitar às seguintes particularidades:

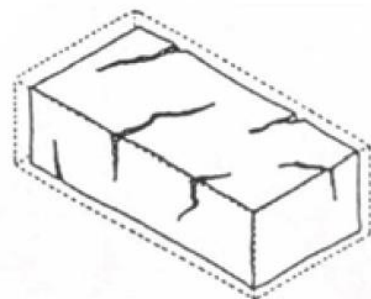
- 100% de material que passa na peneira com abertura de malha de 4,75 mm;
- 10% a 50% de material que passa na peneira com abertura de malha 75 μ m;
- Limite de liquidez menor ou igual a 45%;
- Índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

A Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento (2016) orienta que o solo ideal para a fabricação necessita conter aproximadamente 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila. Solos com porcentagem acima de 75% de areia ou acima de 50% de argila dispõem de pouca coesão e necessitam de maiores taxas de estabilizantes para atingir um ponto favorável. A argila contida no solo influencia diretamente na qualidade do material, bem como a quantidade de água empregue na mistura se relaciona com a resistência. Para os solos que possuem muita areia e pouca argila, geram falta de coesão e dificulta a compactação e o molde do tijolo. Já para aqueles que compõem muita argila, apresenta extração e preparação do solo bem complicada e cria riscos de fissuras. A figura 13 representa essa influência da quantidade de areia e de argila no tijolo ecológico.

Figura 13 – Imagem ilustrativa da influência da quantidade de areia e argila no tijolo ecológico.



(1) Muita areia e pouca argila.



(2) Muita argila.

Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

Os cimentos portland que serão aplicados devem atender as especificações da ABNT NBR 16697 – Cimento Portland – Requisitos. Conforme a ABCP (2000), preconiza-se a dosagem dos tijolos, com proporções em volume, de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14. A seleção de proporção mais adequada, segundo a ABNT NBR 8491:2012, é aquela que demonstra menor consumo de cimento e ainda cumpre os requisitos de resistência à compressão e absorção de água.

No que se refere a água, a ABNT NBR 10833:2012 informa que essa precisará ser livre de impurezas que prejudiquem a hidratação do cimento, como sulfatos e matérias orgânicas. A norma recomenda o uso da água potável. Caso utilize água de cisternas ou água de poço, deverá ser realizada uma análise para garantir que a composição não interfira na mistura.

5.2 A FABRICAÇÃO

Grande (2003) cita as etapas do processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento:

1. Preparação, destorroamento e peneiramento do solo;
2. Preparação da mistura com a adição do cimento ao solo;
3. Homogeneização da mistura e adição de água ao material até atingir uniformidade na umidade da massa;
4. Moldagem dos tijolos, podendo ser em prensas mecânicas manuais, motorizadas ou hidráulicas;
5. Prensagem;
6. Processo de cura para atingir a resistência mecânica adequado.

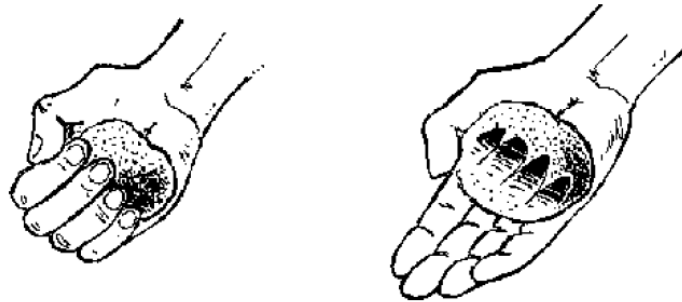
A ABCP (2000) descreve que no processo de preparação, o solo extraído da jazida deve ser transportado até um depósito e armazenado em local de baixa umidade. Posteriormente, desagregam-se os torrões e realiza o peneiramento do material com abertura de malha 4,75 mm, conforme ABNT NBR 10833:2012. O material retido é eliminado e o restante que atravessou deve ser preparado para a mistura.

As porções de solo e cimento que serão misturadas deverão ter volumes apropriados para que os tijolos possam ser produzidos. A técnica de mistura usualmente é executada de forma manual. Assim, o solo é disperso em uma superfície limpa e lisa em uma camada de até 20 cm de espessura. Logo após, o cimento é espalhado sobre a camada de solo e com o uso da pá e da enxada se efetua a mistura até atingir a uniformidade da pigmentação dos materiais. Caso necessário, adiciona-se água gradualmente até que ocorra a obtenção da umidade almejada (ABCP, 2000).

Para constatar que a umidade seja apropriada, a ABCP (2000) cita dois testes de precisão satisfatória, como prova do grau ótimo de umidade:

- 1º Teste: retira-se um punhado da mistura, pressiona-a com os dedos e a palma da mão com firmeza, abre-se a mão e observar se o punhado possui as marcas deixadas pelos dedos. Se isso ocorrer, significa que a umidade pode estar adequada, conforme figura 14;

Figura 14 – Imagem ilustrativa do teste de pressionamento.



Fonte: ABCP, 2000.

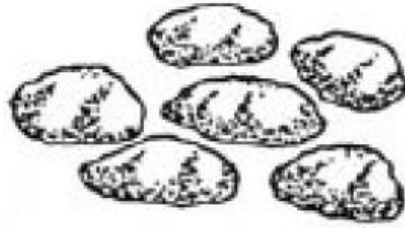
- 2º Teste: Em seguida, solta-se o punhado sobre uma superfície dura, de acordo com a figura 15, a partir de uma altura aproximada de 1 metro. Ao estabelecer o choque com a superfície, o punhado deverá ter se desfeito em vários pedaços, estando assim com a umidade ideal, demonstrado na figura 16. Caso não ocorra, significa que a mistura está demasiadamente úmida, figura 17. Se o punhado esfarelar, é por insuficiência de água, figura 18.

Figura 15 – Teste do esfarelamento.



Fonte: ABCP, 2000.

Figura 16 – Punhado com umidade ideal.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

Figura 17 – Punhado com umidade excessiva.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

Figura 18 – Punhado com umidade insuficiente.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

Após efetuado os testes e finalizado o processo de mistura, a ABCP (2000) indica que é preciso verificar a regulagem do equipamento que será utilizado para exercer o método de prensagem, a fim de se obter as dimensões e adensamento determinados para o tijolo. Com a prensa devidamente regulada, coloca-se a mistura no interior dos moldes e executa a prensagem. Seguidamente, retira-se do molde, com cuidado, os tijolos fabricados, para que não haja fragmentação das arestas e assim serem transportados para a área de cura. Na condição dos primeiros tijolos produzidos não possuírem os requisitos desejados, poderão ser destorroados e reaproveitados para uma nova prensagem. Desse modo, para os tijolos que já atendem as especificações, precisam ser organizados em uma superfície plana, empilhados até altura máxima de 1,5 metros, com sombra. Na circunstância do solo ser muito arenoso, não é recomendado empilhar os tijolos logo após a fabricação, é aconselhável empilhar somente no dia seguinte. Por fim, inicia-se o processo de cura, o qual após 6 horas de serem moldados os

tijolos precisam ser mantidos úmidos através de molhagens sucessivas, durante os primeiros 7 dias, em peças separadas dispostas em uma superfície horizontal, protegidas do sol e da chuva. Para locais não cobertos, utiliza-se de lonas para proteger a pilha de tijolos.

Quanto as prensas empregadas no processo de fabricação dos tijolos ecológicos, Grande (2003) relata que nos anos 70 as prensas mecânicas e hidráulicas começaram a ser desenvolvidas. Conforme Neves et al. (2001), as prensas manuais mecânicas – figura 19 – apresentam a vantagem do baixo custo de aquisição e de manutenção, são mais fáceis de transportar e não necessitam de energia, afinal usam da força manual. Porém, a taxa de compactação e produção é reduzida, além de exigirem uma maior cautela para a seleção do solo a ser utilizado. Já as prensas mecânicas motorizadas – figura 20 – e as hidráulicas – figura 21, apesar do maior custo, maior tamanho e utilizar energia, apresentam o potencial de produção bem maior do que as prensas manuais.

Figura 19 – Prensa manual mecânica.



Fonte: ABCP, 2000.

Figura 20 – Prensa motorizada mecânica.



Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

Figura 21 – Prensa motorizada hidráulica.

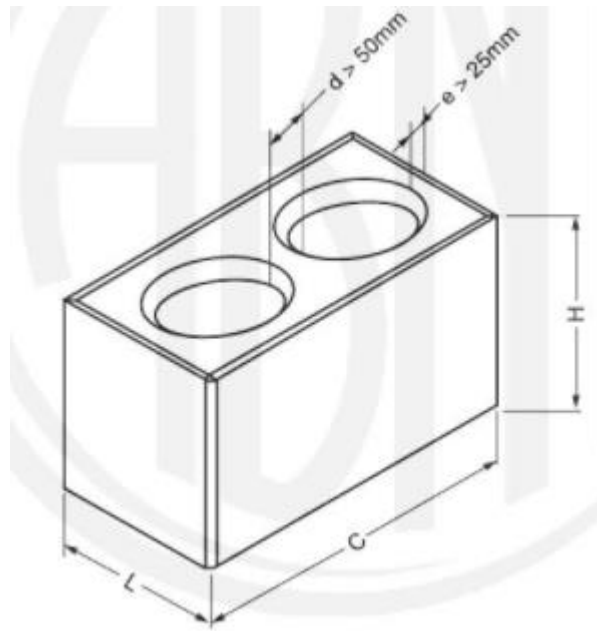


Fonte: Cartilha de Produção de Tijolos de Solo-cimento, 2016.

A fabricação dos tijolos deve atender aos procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 10833:2012. A norma dita que, cada lote deve ser identificado pelo fabricante em conformidade com a procedência do material, apresentando arestas vivas e sem a presença de fissuras, fraturas ou defeitos que venham comprometer o assentamento, a resistência e a durabilidade da alvenaria. Além disso, a norma recomenda que as arestas dos blocos sejam chanfradas, principalmente em alvenarias aparentes.

À luz da norma ABNT NBR 10834:2013 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos, o tijolo necessita portar a forma externa de um paralelepípedo retangular, conforme figura 22, com o comprimento (C) sendo a maior dimensão da face de assentamento, a largura (L) a menor dimensão da face de assentamento e a altura (H) como a distância entre as faces de assentamento. As dimensões nominais que os blocos devem apresentar são de: 300mm para o comprimento, 150mm para a largura e 150mm para a altura. Entretanto, caso o bloco mantenha altura igual ou superior à largura, dimensões diferentes podem ser apontadas. Vale ressaltar que para blocos portadores de reentrâncias, estas devem situar-se a 25mm, no mínimo a partir das arestas das faces das reentrâncias, contendo uma profundidade máxima de 13mm. Se os blocos possuírem furos, o eixo deve ser perpendicular à superfície de assentamento, e a espessura mínima (e) é de 25mm das paredes no seu entorno. Os blocos devem possuir no mínimo 14 dias de idade para poderem ser utilizados na execução de alvenaria.

Figura 22 – Imagem ilustrativa representando as dimensões do tijolo ecológico.



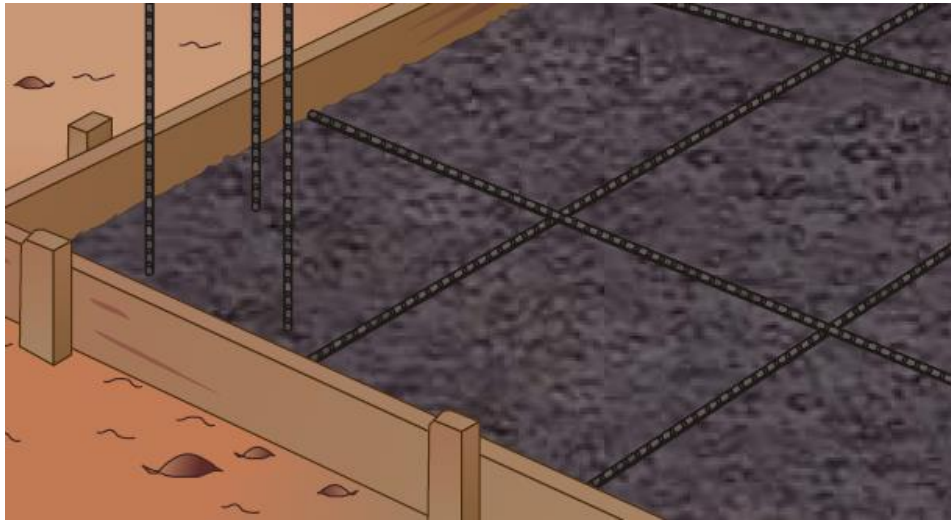
Fonte: ABNT NBR 10834:2013.

5.3 PROCESSO EXECUTIVO DA CONSTRUÇÃO

Para os tijolos ecológicos, conforme o tipo de solo e projeto, as fundações utilizadas são do tipo radier ou viga baldrame, sendo aplicável também estacas ou sapatas isoladas. Caso a fundação não seja do tipo radier, é imprescindível montar a base de concreto do contrapiso com o objetivo de manter o nível, proteger o material e permitir que os tijolos fiquem próximos aos pedreiros. O tipo de fundação não afeta na construção da alvenaria com o tijolo de solo-cimento (PORTELA e AMARAL, 2019).

Assim, de acordo com Portela e Amaral (2019), para a execução da fundação, a partir da limpeza do terreno, já nivelado e gabaritado, inicia-se o processo de escavação. As marcações do terreno e a escavação devem ser realizadas seguindo as especificações de projeto. Quando preciso, utiliza-se as caixarias – estruturas de madeiras provisórias – para ser executada a concretagem e, dessa forma, não ocorrer vazamentos. É importante evidenciar que as caixarias precisam estarem bem fixadas e localizadas para não alterarem de posição. Além disso, vale destacar também o posicionamento e a fixação das armações da fundação e das barras de aço para os grautes, sem esquecer que é necessária uma camada de concreto magro, ou lona, ou brita compactada, para não haver contato direto com o solo. A posteriori, com as barras de aço, armações e caixarias posicionadas, é o momento em que se coloca o concreto, pastoso e homogêneo. Ao efetuar a cura do concreto das fundações, executa-se a base de concreto para receber o contrapiso. A figura 23 ilustra as barras de aço fundidas no radier.

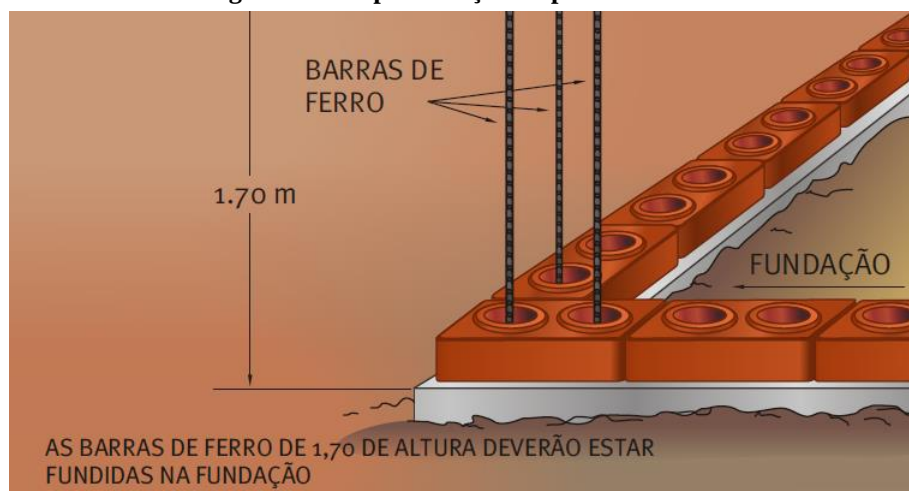
Figura 23 – Barras de aço fundidas no radier.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

No que se refere a primeira fiada de tijolos ecológicos, figura 24, primeiramente se aplica uma camada de argamassa convencional composta por areia, cimento e água, para então iniciar o assentamento dos tijolos, que podem ser executados também com argamassa ou cola branca e água, empregues com bisnaga com bico dosador. Além disso, deve-se realizar a conferência do nível e do prumo para que se sucedam as fiadas seguintes (PORTELA e AMARAL, 2019).

Figura 24 – Representação da primeira fiada.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Ainda consoante Portela e Amaral (2019), posteriormente, é através dos encaixes dos tijolos, em juntas desencontradas, um sobre o outro, que se dá o progresso do levantamento da alvenaria, verificando o nível e o prumo a cada 0,5 metros. A união entre os tijolos se dá também através da aplicação de filetes de cola branca ou de argamassa, utilizando bisnaga com bico

dosador, representada na figura 25. Esses filetes também possuem a função de retificar irregularidades. A argamassa acaba sendo a mais empregada, devido ao baixo custo relativo a cola branca. O sistema de assentamento é seguro, simples e prático, podendo utilizar até mesmo um aplicador de confeitaria bolos, incrementando agilidade diante do processo construtivo. Ademais, o assentamento deve ser realizado considerando a planta de aberturas com o intuito de posicionar as barras de aço, a concretagem, as amarrações, as tubulações, os conduítes e entre outros.

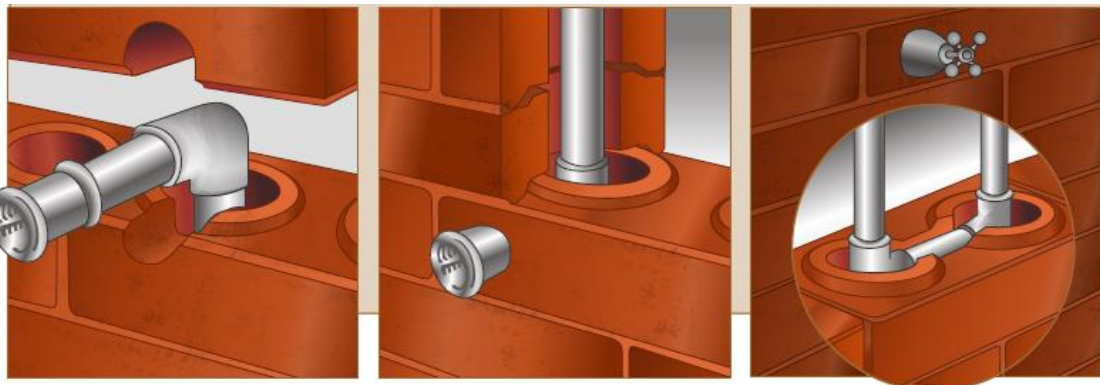
Figura 25 – Aplicação do filete de cola branca ou argamassa com bisnaga.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Para tubulações e conduítes, estes são embutidos nas aberturas dos tijolos a medida em que ocorre a evolução da alvenaria, conforme as localizações previstas nos projetos hidráulicos e elétricos. As instalações hidráulicas, de pontos elétricos e caixas de tomadas, simbolizados respectivamente nas figuras 26 e 27, são executadas através de cortes na lateral dos tijolos (PORTELA e AMARAL, 2019).

Figura 26 – Execução da instalação hidráulica.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

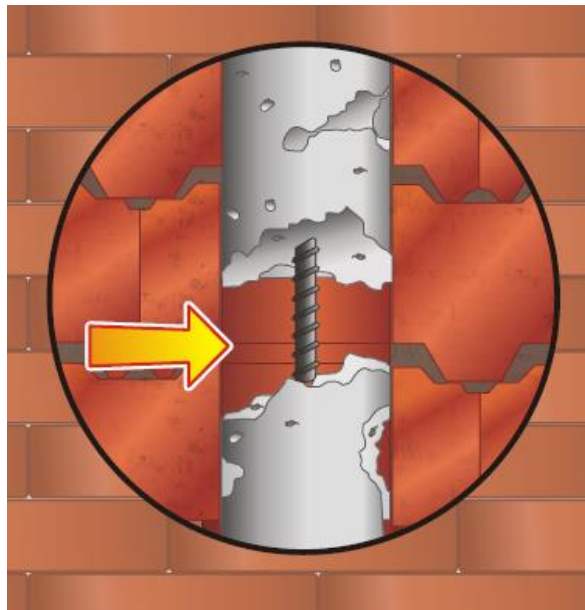
Figura 27 – Execução da instalação elétrica.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Para as colunas, estas são preliminarmente calculadas e são concretadas, por meio de um funil, a cada 0,5 metros com o propósito de evitar vazios, retratados na figura 28, que, por sua vez, provocam decrescimentos na resistência. O uso do funil auxilia na redução de desperdícios e evita sujar as paredes (PORTELA e AMARAL, 2019).

Figura 28 – Bolsa de ar comprometendo a estrutura de colunas.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Segundo os autores Portela e Amaral (2019), em relação ao preenchimento de graute, este é aplicado em determinados furos dos tijolos, escolhidos previamente em projeto, e são introduzidas as barras de aço e os grampos, firmando a estrutura e favorecendo o aumento da resistência da alvenaria. A complementação do graute e a execução do processo de amarração, utilizando os grampos em encontros de paredes, são realizados a cada 0,5 metro. Os grampos

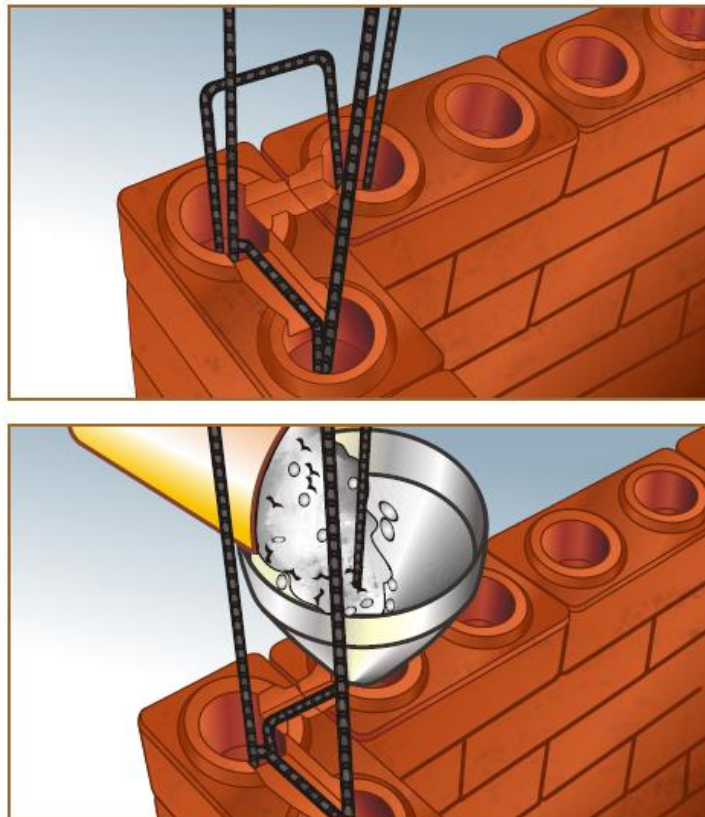
são barras de aço em forma de “U” que são introduzidas verticalmente pelo interior das aberturas dos tijolos, que a partir de cortes – utilizando uma serra circular manual – são criados sulcos, ilustrados na figura 29, de tamanho suficiente para embutir os grampos, representados na figura 30, e assim estabelecer uma conexão entre as colunas e assegurar a amarração da estrutura. O procedimento é realizado até o limiar da altura prevista do pé direito.

Figura 29 – Criação de sulcos com serra circular manual.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

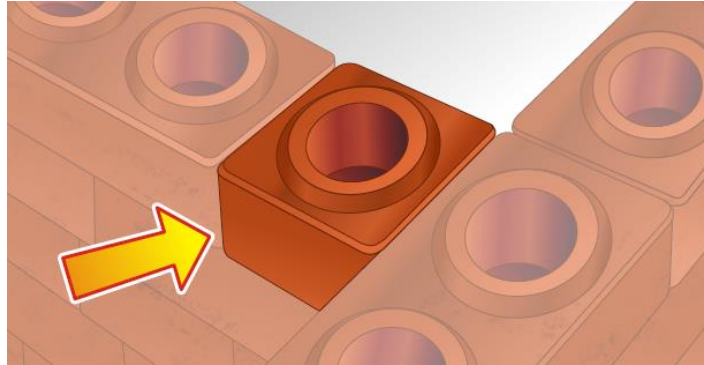
Figura 30 – Introdução de grampos e preenchimento do graute.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

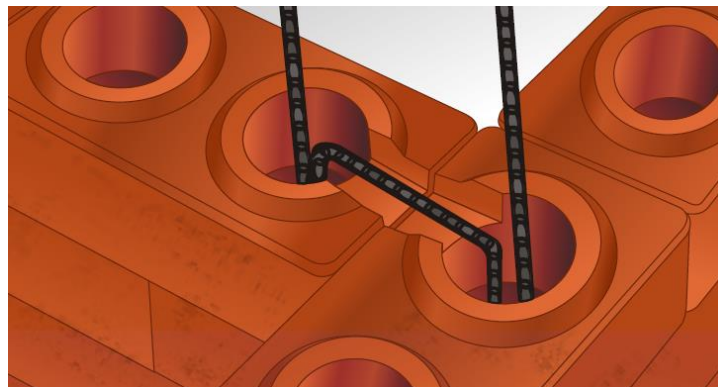
No caso de paredes perpendiculares, a Cartilha Eco Produção (2020) orienta que, pode-se utilizar o meio tijolo como complemento no encontro de duas paredes, ilustrado na figura 31. Além disso, deve-se optar por dois tipos de amarração, linear – figura 32 – ou triangular – figura 33. A amarração entre barras pode ser feita com o uso de arames, representada na figura 34.

Figura 31 – Utilização do meio tijolo no encontro de duas paredes.



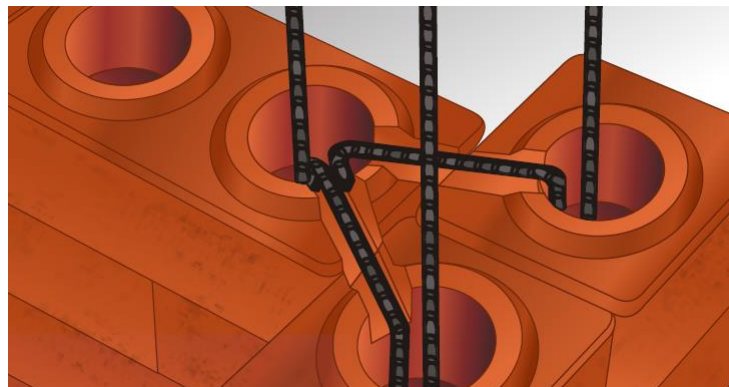
Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 32 – Amarração linear em paredes perpendiculares.



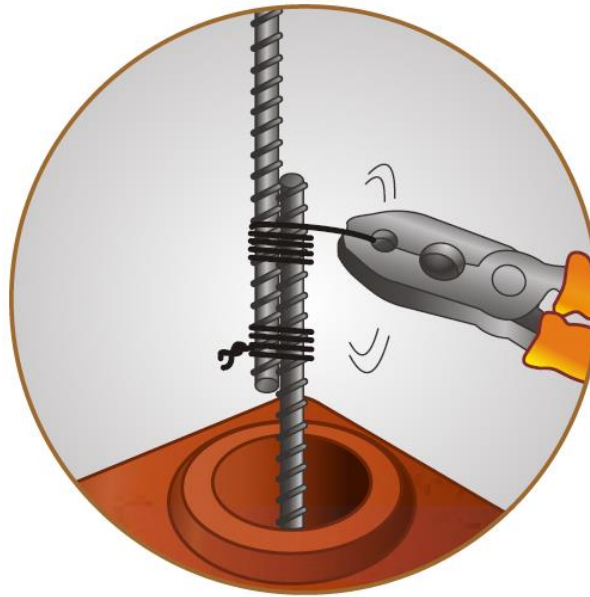
Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 33 – Amarração triangular em paredes perpendiculares.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

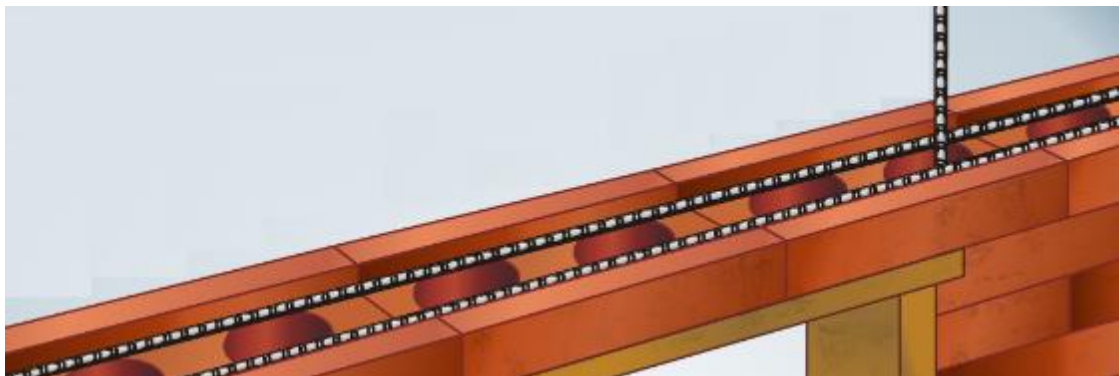
Figura 34 – Amarração de barras de aço com arame.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

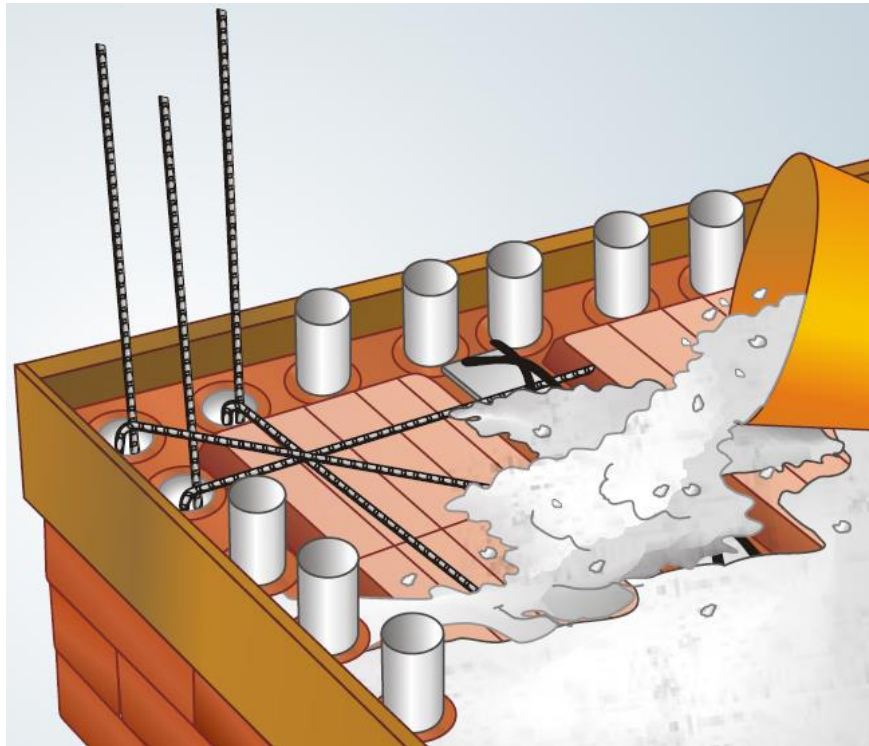
Quanto as cintas de amarração, são executadas em três alturas: altura das vergas, altura das contravergas e alturas da última fiada da edificação. Os tijolos modulares empregados são do tipo canaletas. Esses tijolos são preenchidos com concreto e barras de aço que irão atuar como as vergas e as contravergas tradicionais, demonstrados na figura 35. Além disso, é considerável frisar que para não gerar fissuras, os vazados dos tijolos são comumente isolados com copos descartáveis ou canos PVC (Policloreto de polivinila), cortados em formato de copos, sob as vergas e contravergas, para então efetuar a concretagem das camadas acima do isolamento. A figura 36 ilustra a etapa de concretagem das camadas acima do isolamento (PORTELA e AMARAL, 2019).

Figura 35 – Cinta de amarração substituindo a verga.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 36 – Concretagem das camadas acima do isolamento.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

No que concerne ao acabamento da alvenaria, existem uma variedade de maneiras, citadas por Portela e Amaral (2019), para conceber tal procedimento, dentre eles, citam-se os acabamentos:

- Por pintura, sendo executada a etapa de rejuntamento dos tijolos que em seguida são impermeabilizados e submetidos à pintura acrílica;
- Com argamassa, a qual não necessita que os tijolos sejam rejuntados e chapiscados, apenas umedecidos para receberem a argamassa, sendo feito o reboco e emboço;
- Com peças cerâmicas, pedras ou porcelanatos, as quais não são necessárias também o rejuntamento e a impermeabilização. Essas são executadas diretamente nos tijolos com argamassa de assentamento;
- Com texturas rentes ao relevo do tijolo, estas carecem da etapa de rejuntamento e posteriormente é aplicada a massa acrílica com adição de resina hidro-repelente.
- Com tijolos aparentes, os quais exigem os processos de, respectivamente, impermeabilização, rejuntamento e, mais uma vez, impermeabilização. A última, pode ser ou não pigmentada.

A Cartilha Eco Produção (2020), cita que os tijolos solo-cimento podem dispensar uma cobertura de massa, utilizando nas junções a bisnaga com massa para realizar o acabamento,

retratado na figura 37. A massa para o rejunte pode ser massa branca misturada a corantes ou mistura de solo-cimento. Após, a aplicação da massa, o acabamento pode ser finalizado com uma espátula ou bastão de ponta arredondada para eliminar os excessos, ilustrado na figura 38. Para a limpeza das paredes, utiliza-se de palhaça de aço número zero, como também é possível a aplicação de uma camada de reboco com uma régua larga e nivelada, conforme figura 39.

Figura 37 – Aplicação de rejunte.



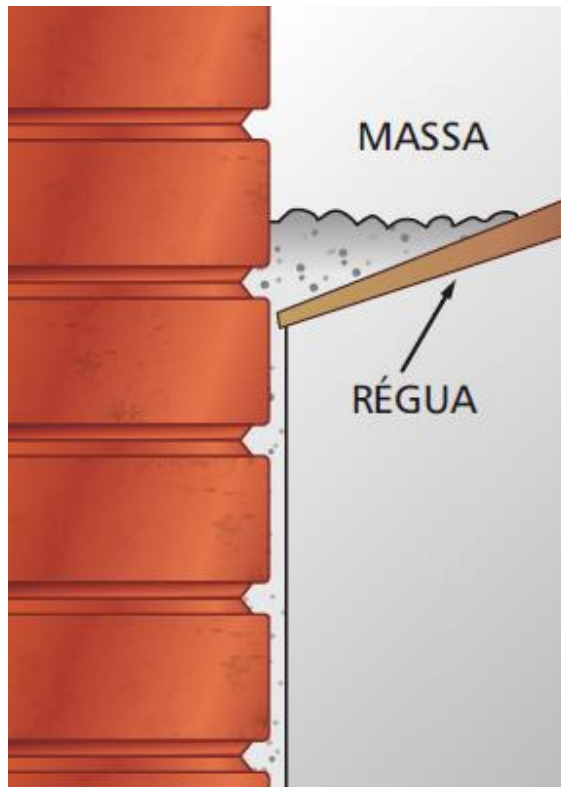
Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 38 – Utilização de um bastão com pontas arredondadas para acabamento.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

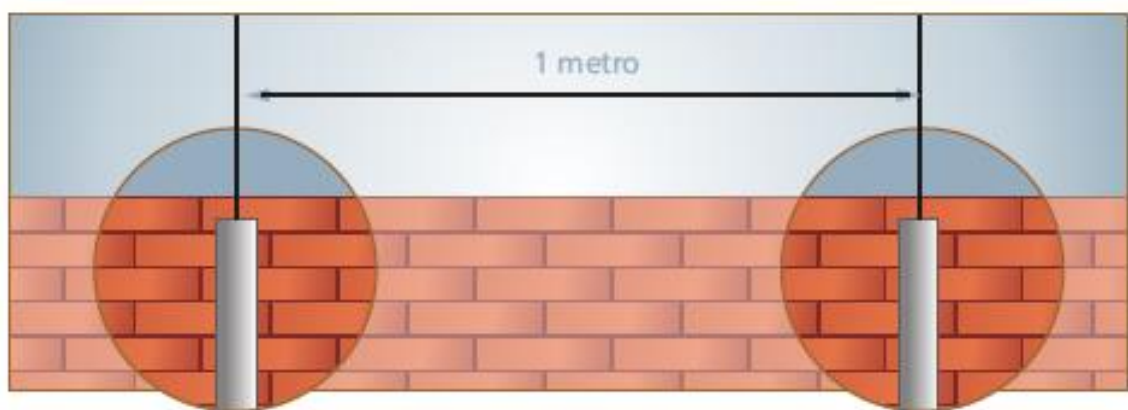
Figura 39 – Processo de regularização do reboco.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

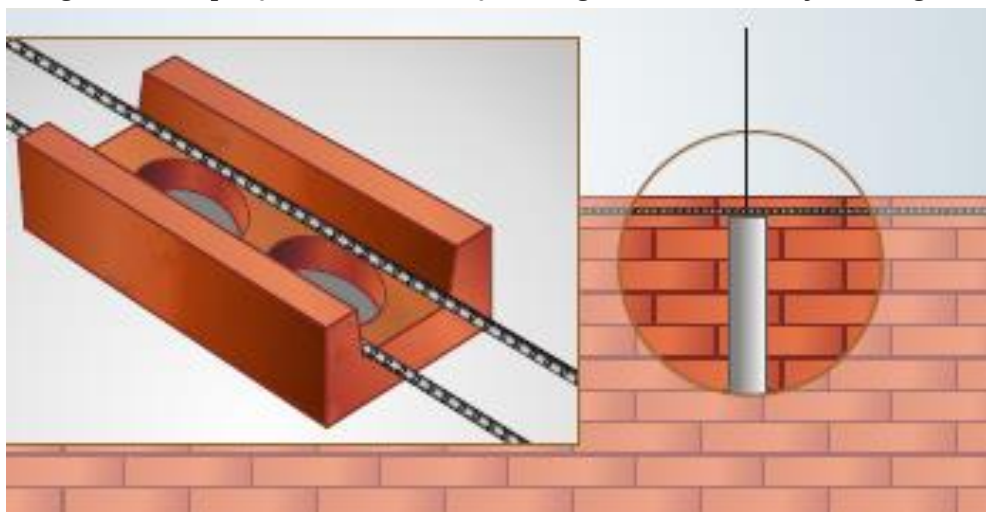
De acordo com a Cartilha Eco Produção (2020), a construção de um muro com tijolo ecológico necessita da criação de colunas a cada 1 metro de distância entre si, ilustrada na figura 40, com os vazados dos tijolos obstruídos com folhas amassadas de papel ou jornal para que se preencha as canaletas de concreto. Após completar a altura desejada, dispõe de barras de aço dentro das canaletas em toda extensão do muro, consoante figura 41. As barras que saem das colunas são dobradas e amarradas nas barras de aço horizontais, figura 42.

Figura 40 – Disposição das colunas de um muro de tijolo ecológico.



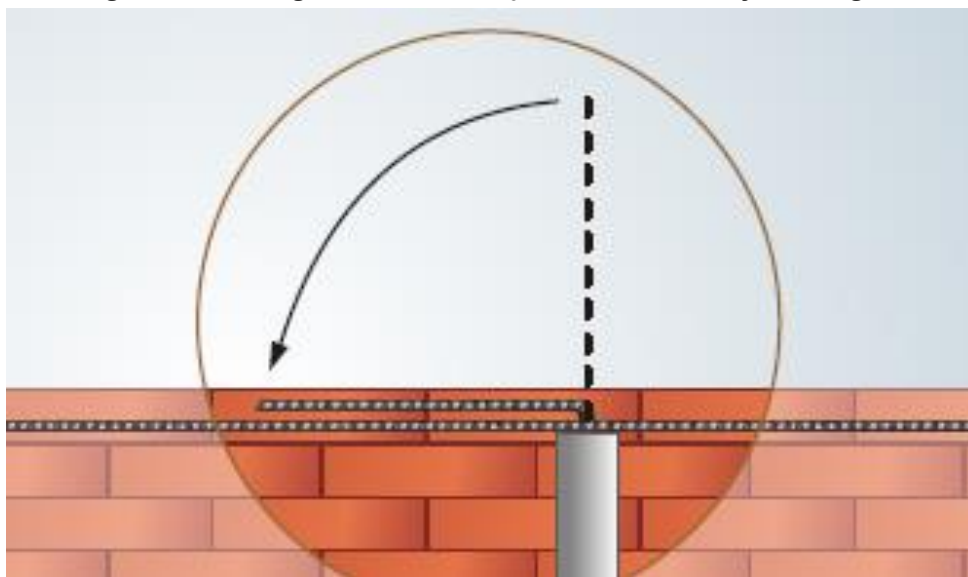
Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 41 – Disposição das barras de aço ao longo de um muro de tijolo ecológico.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

Figura 42 – Dobragem de barras de aço em um muro de tijolo ecológico.



Fonte: Cartilha Eco Produção, 2020.

6 CONCLUSÃO

Ser sustentável nada mais é do que aprovisionar as necessidades contemporâneas sem deixar marcas prejudiciais, para que as gerações vindouras sejam capazes de prover as suas próprias. Assim, é com esse viés que a construção civil vem pleiteando modos para abandonar os maus hábitos de tempos remotos, dos quais eram propagados abalos ecossistêmicos sem mensurar os danos futuros. Essa mudança de pensamento foi o fator basilar que conduziu o corrente trabalho a retratar a temática do tijolo ecológico.

Os objetivos deste trabalho canalizaram-se em expor, através da literatura, os aspectos gerais do tijolo ecológico, iniciando com a apresentação de sua matéria-prima, o solo-cimento, bem como a aplicação, a fabricação e o procedimento executivo desse sistema construtivo, frisando também a contribuição e a relação desse material com o quesito sustentabilidade, na qualidade de solução alternativa no âmbito da construção civil.

A progressão do estudo concedeu um conhecimento mais sólido e fundamentado sobre a possibilidade de introduzir esse método sustentável no setor construtivo. Essa perspectiva levou a edificação de conceitos e de comportamentos acerca do solo-cimento, a qual tornou perceptível os benefícios que o material carrega consigo, como a capacidade de aproveitamento do solo a ser descartado, a facilidade de obtenção de matéria-prima e a economia de transporte e de energia. Além disso, tornou-se evidente as alternativas de incrementar a mistura com adição de outros materiais que, usualmente, seriam rejeitados. Afinal, pode-se observar que diversos resíduos e fibras são capazes de adquirir o atributo de serem reaproveitados e ainda acrescentarem aperfeiçoamentos ao solo-cimento, seja por meio do aumento de resistência, da durabilidade ou das melhorias em absorção.

Após o esclarecimento acerca da matéria-prima, o trabalho focalizou em demonstrar o tijolo ecológico e suas nuances. O tijolo foi definido, a partir de normas técnicas, como elemento construtivo de alvenarias, citando também a facilidade e os pontos positivos de sua confecção, os tipos de tijolos, o sistema de aplicação, as particularidades do formato e um apanhado geral dos fatores relacionados ao produto. À vista disso, foi possível estabelecer um panorama mais abrangente desse material, o qual serviu de direcionamento para o estudo do ponto de vista construtivo.

A partir disso, iniciou-se a descrição do processo de fabricação do tijolo ecológico, que foram desde as análises preliminares – para efetuar a escolha dos materiais – até a constituição completa do material em si. Dessa maneira, ficou compreendido o quão tangível é a produção dos tijolos, demonstrando a facilidade da confecção, as incumbências a serem consideradas, os

tipos de prensa que podem ser operadas e o baixo custo de produção. Posteriormente, já com o material constituído, o processo executivo de construção foi detalhado, com base na Cartilha Eco Produção (2020) e nos autores Portela e Amaral (2019), explicitando o modo de aplicação, as especificidades, as advertências e os pormenores. Tudo isso, foi circunstanciado desde a etapa de fundação até o acabamento das alvenarias.

Mediante o exposto, nota-se que os tijolos ecológicos apresentam as características propícias para serem empregados como elemento construtivo em prol do desenvolvimento sustentável. Sendo assim, é notável a possibilidade do uso desse material como alternativa aos tijolos convencionais. Logo, para que esse elemento venha à tona e se torne uma técnica vigente, é preciso criar meios de divulgação para que o conhecimento e as vantagens de utilizar o material chegue até os construtores e os clientes. Vale ressaltar que a concepção de novos mecanismos como esse é substancial para a evolução dos sistemas construtivos atuais e da sociedade como um todo.

Como sugestão para trabalhos futuros alusivos ao tema apresentado, propõe-se:

- A análise detalhada do quão influente o tipo de solo pode ser quando se refere a resistência à compressão, absorção e durabilidade;
- A elaboração de pesquisas comparativas, de forma mais minuciosa, entre a alvenaria de tijolo ecológico e as alvenarias de tijolos e blocos mais utilizados do mercado;
- Incentivar pesquisas do material, relacionadas as engenharias e arquitetura, no ambiente acadêmico, com o propósito de ampliar a visão para utilização de novas técnicas na construção civil nacional e contribuir com a sustentabilidade como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIKO, A. K. **Solo-Cimento: Tijolos, Blocos e Paredes Monolíticas**. Tecnologia de Edificações, IPT/Ded, São Paulo, 1983.
- ABIKO, A. K. **Estabilização de solos com cimentos pozolânicos de cinza da casca de arroz e de resíduos cerâmicos**. Tese de doutorado, EPUSP. São Paulo, 1987.
- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem e métodos de ensaio**. Estudo técnico. São Paulo, 1986.
- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Solo-cimento na habitação popular**. 2. ed. São Paulo, 1987.
- ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais: prática recomendada**. São Paulo, 2000.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10833:2012 - Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10834:2013 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12253:2012 – Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:2018 – Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457:2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8491:2012 - Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSIS, J. B. S. **Bloco intertravado de solo-cimento “tijolito”**. In: Workshop Arquitetura de terra. Anais. NUTAU-FAUUSO, São Paulo, 1995.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. 1. ed., São Paulo: Oficina de Texto. São Paulo, 2007.

BAPTISTA, C. **Pavimentação, Trono II, Compactação de Solos no Campo; Camadas de Base; Estabilização de Solos**. 2. ed. Editora Globo. Porto Alegre, 1976.

BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 1994.

BLÜCHER, E. **Mecânica dos solos para engenheiros rodoviários**. Vol. I. Blücher. São Paulo, 1951.

BURIOL, T. **Caracterização de jazidas para construção de habitações populares, com solo-cimento, em Santa Maria**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2002.

CARDOSO, L.; ABIKO, A.; GONÇALVES, O.; BARBOSA, A.; INOUE, K.; HAGA, H. **Productive Chain Modelling in Housing Construction in Brazil, Aiming at a Prospective Study**. XXX IAHS. World Congress on Housing, Housing Construcion. An Interdisciplinary Task. Coimbra-PT, 2002.

CARTILHA PRODUÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO. Instituto Educacional Piracicabano da Igreja Metodista – IEP. Editora Unimep. Piracicaba, 2016.

CARTILHA ECO PRODUÇÃO. Tijolo ecológico. Manual Prático. Disponível em: <<https://www.sahara.com.br/pdf-sahara-tecnologia/cartilha-eco-producao.pdf>> Acesso em: 08 de novembro de 2020.

CEBRACE - CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES E EQUIPAMENTOS ESCOLARES. **Solo-cimento na construção de escolas – SC01**. 2. ed., Rio de Janeiro, 1981.

CEPED - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. **Cartilha para construção de paredes monolíticas em solo-cimento**. BNH/DEPEA. 4. ed., Rio de Janeiro, 1985.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document**. United Nations Environment Programme International Environmental Technology Centre. Boutek Report No Bou/E0204, CIB/UNEP-IETC. Pretória, 2002.

ECOMÁQUINAS. **Modelos de tijolos ecológicos**. Disponível em: <<https://ecomaquinas.com.br/o-tijolo-ecologico/modelos-de-blocos-e-tijolos>> Acesso em: 08 de novembro de 2020.

FERRAZ, R.; BELICANTA, A.; GUTIERREZ, N. **Estudo comparativo de alguns métodos de dosagem de misturas de solo-cimento**. ENTECA. Anais. Maringá, 2001.

FERRAZ, A.; SEGANTINI, A. **Estudo da aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades de tijolos de solo-cimento**. Revista Científica do Centro de Estudos Ambientais (CEA). Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira-SP, 2003.

FERREIRA, R. **Desempeno Físico-mecânico e Propriedades Termo Físicas de Tijolos e Mini Painéis de Terra Crua Tratada com Aditivos Químicos**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI da UNICAMP. Campinas-SP, 2003.

FREIRE, W. J. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Editora da Unicamp, São Paulo. Campinas, 2003.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo. São Carlos, 2003.

HEJAZI, S. M., SHEIKHZADEH, M., ABTAHI, S., ZADHOUSH, A. **A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers**. Construction and Building Materials. v.30, Isfahan University of Technology, Iran. Isfahan, 2012.

LIMA, R. C. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. Dissertação de Pós-Graduação, Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. Campina Grande, 2010.

LOPES, W. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. Dissertação de Doutorado, UNICAMP. Campinas-SP, 2002.

- MACHADO, C. F. **Estabilização de solo típico regional visando sua utilização como base de pavimentos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGECE, Porto Alegre, 1978.
- MERCADO, M. C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes à sua produção e utilização em estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 1990.
- MIELI, P. H. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. Projeto de Conclusão de Curso. Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- MOTTA, L. A., AGOPYAN, V. **Caracterização de fibras curtas empregadas na construção civil**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2007.
- NEVES, C. M. **Tijolos de solo-cimento**. In: Dez alternativas tecnológicas para habitação. Anais. MINTER/PNUD. Brasília, 1989.
- NEVES, C.; CARNEIRO, A.; COSTA, D. **Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizados com cimento**. In: Reciclagem de entulho para a prensa hidráulica. Produção de materiais de construção, EDUFBA. Salvador, 2001.
- PALIARI, J.; DE SOUZA, U. **Metodologia para coleta e análise de informações sobre consumo e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios**. EPUSP. São Paulo, 1999.
- PARENTE, E. **Avaliação do comportamento mecânico das misturas de solo-cimento e fosfogesso e cimento para uso na construção rodoviária**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. EECS da Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2002.
- PISANI, M. A. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento**. In: SINERGIA. v.6. São Paulo, 2005.
- PITTA, M. **Estabilização com solo-cimento**. Revista Techne, Editora Pini. São Paulo, 1995.
- PORTELA, N.; AMARAL, D. **Uso do tijolo ecológico: Aspectos e aplicações desta técnica construtiva nos dias atuais**. Revista Multidisciplinar, Faculdade do Noroeste de Minas, Minas Gerais. Patos de Minas, 2019.

SALA, L. G. **Proposta de habitação sustentável para estudantes universitários**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2006.

SABBAG, P. Y. **Solo-cimento: O estudo da retração e suas implicações**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1980.

SANTOS, A. L. **Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos de construção e demolição (RCD): análise das construtoras associadas ao SINDUSCON/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim – RN**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SANTOS, A.; BAUMGART, L.; WOICIOKOSKI, M.; TABARELLI, O.; JATZAK, S.; NICOLETTI, V. **Utilização de resíduos da construção civil em tijolos ecológicos**. Trabalho Interdisciplinar. Administração da Produção II. Associação do Vale do Itajaí Mirim, 2009.

SANTOS, M. **Fabricação de Solo-Cimento com Adição de Resíduos de Madeira Provenientes da Construção Civil**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Construção Civil. Belo Horizonte, 2009.

SENA, R.; LAURSEN, A.; SILVA, J. **Avaliação mecânica de tijolo maciço solo-cimento contendo resíduo de pet**. Revista Eletrônica de Ciências Veredas. Centro Universitário Unifavip, Pernambuco. Caruaru, 2017.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários**. 1. ed., Editora Pini. São Paulo, 1995.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1. ed., v.2., Editora Pini. São Paulo, 2001.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: Transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes**. Monografia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

SEGANTINI, A. **Utilização de solo-cimento em estacas apiloadas para obras de pequeno porte**. Dissertação de Mestrado. FEAGRI UNICAMP, São Paulo. Campinas, 1994.

SEGANTINI, A. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira-SP**. Tese de Doutorado. FEAGRI UNICAMP, São Paulo. Campinas, 2000.

SEGANTINI, A.; ALCÂNTARA, M. **Solo-cimento e solo-cal. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1. ed., v.2. São Paulo: IBRACON, 2007.

SEGANTINI, A.; ALCÂNTARA, M. **Solo-cimento e solo-cal. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1. ed., v.2. São Paulo: IBRACON, 2010.

SEGANTINI, A.; WADA, P. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição**. Acta Scientiarum Technology, v. 33. Maringá, 2011.

SILVA, M. **O solo-cimento**. Materiais de Construção, Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A. Rio de Janeiro, 1994.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira, 2006.