



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO BABAÇU EM
FORMULAÇÕES DE TIJOLO SOLO-CIMENTO**

RENAN SANTOS DE SÁ CARVALHO

ORIENTADOR: PROF. Dr. ROBERTO ARRUDA LIMA SOARES

TERESINA

2019

RENAN SANTOS DE SÁ CARVALHO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO
BABAÇU EM FORMULAÇÕES DE TIJOLO SOLO-CIMENTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Processamento e
Caracterização de Materiais

ORIENTADOR: PROF. Dr. ROBERTO ARRUDA LIMA SOARES

TERESINA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C331e Carvalho, Renan Santos de Sá
Estudo da viabilidade da utilização da fibra de coco babaçu em formulações de tijolo solo-cimento / Renan Santos de Sá Carvalho - 2019.
78 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, Mestrado em Engenharia de Materiais, 2019.

Orientador : Prof Dr. Roberto Arruda Lima Soares.

1. Tijolo solo-cimento. 2. Fibra de coco babaçu.. 3. Ensaio tecnológicos.. I.Título.

CDD 620.1



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ - IFPI
CAMPUS TERESINA CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS / PPG-EM
Praça da Liberdade, 1597 - Centro - Teresina - PI CEP. 64.000-040
Fone: (86) 3131 – 9468, endereço eletrônico: <http://ppgem.ifpi.edu.br/home>

RENAN SANTOS DE SÁ CARVALHO

ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO BABAÇU EM
FORMULAÇÕES DE TIJOLO SOLO-CIMENTO

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Materiais do Instituto Federal do Piauí, como parte
integrante dos requisitos para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 11/02/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Arruda Lima Soares
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI
Orientador

Prof. Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI
Avaliador Interno

Prof. Dr. José Milton Elias de Matos
Universidade Federal do Piauí - UFPI
Avaliador Externo

“Quando você está em paz todo mal se desfaz”

Renan Santos

RESUMO

Com o atual contexto socioeconômico representado pelo desenvolvimento de novos materiais e técnicas eficazes de rápida execução, a produção de tijolo ecológico que é feito a partir de solo, água e cimento torna-se uma alternativa para o investimento em edificações de baixo custo com o uso de materiais de descarte, resultando em menores impactos ambientais e pode beneficiar o acesso de uma unidade habitacional para populações de baixa renda. A fabricação de tijolos ecológicos traz grandes vantagens em relação ao convencional, pois podem ser fabricados e armazenados na própria obra, ausência de queima da matéria-prima com consequente redução da degradação ambiental, além do baixo custo de produção devido não ser necessário o emprego de máquinas sofisticadas. Nesta perspectiva, este trabalho pretende analisar as características de tijolos ecológicos confeccionados com fibra de coco babaçu para atender aos critérios de aceitação por norma para uma boa resistência mecânica, absorção de água, durabilidade e conforto térmico dos tijolos ecológicos. Os teores de adição da fibra aplicados nesta pesquisa foram de 0%, 0,5%, 1%, 1,5% e 2% em uma massa utilizada na produção de tijolo ecológico. O traço adotado de 7/1 para proporção de solo em relação ao cimento. Os corpos de prova foram confeccionados em tamanho padrão em uma prensa manual simples. Foram realizados ensaios tecnológicos de absorção de água e resistência mecânica nos corpos de prova, seguindo as normas da ABNT 8491:2012, para um período de cura nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para a molhagem do tijolo solo-cimento. Também foram realizados ensaios de caracterização das matérias-primas como: granulometria, limites de consistência, difração de raios X e fluorescência de raios X, assim como um estudo da comparação do conforto térmico promovido pelos tijolos produzidos com e sem adição da fibra. Os resultados mostraram que adição da fibra de coco babaçu no tijolo solo-cimento influencia positivamente na resistência mecânica, obtendo-se assim um material apropriado para o sistema construtivo de alvenaria sem função estrutural.

Palavras-chave: Tijolo solo-cimento. Fibra de coco babaçu. Ensaios tecnológicos.

ABSTRACT

With the current socioeconomic context represented by the development of new materials and effective techniques of rapid execution, the production of ecological brick that is made from soil, water and cement becomes an alternative for the investment in low cost buildings with the use of disposal materials, resulting in lower environmental impacts and may benefit a housing unit's access to low-income populations. A great advantage of the use of ecological bricks in comparison with conventional masonry is due to the possibility of their manufacture allowing the addition of other materials that will result in the origin of the ceramic block with several required proportions. In this perspective, this work intends to analyze the characteristics of ecological bricks made with babassu coconut fiber. In order to meet the acceptance criteria for good mechanical strength and durability of ecological bricks, a series of tests were carried out with plots of graphs and tables aiming at compliance with the minimum requirements of ABNT 8491: 2012 for their construction. The preparation of babassu coconut fibers was carried out naturally without the use of chemicals in order to preserve the integrity of their intrinsic properties. In view of the above, this work aims to use bamboo fiber in the manufacture of ecological brick, with contents of 0.5%, 1%, 1.5% and 2% adopting the 7/1 trace for soil proportion in relation to cement in view of the curing period at the ages of 7, 14, 21 and 28 days for the wetting of the soil-cement brick. The sample of the soil collected for the construction of the ecological brick was submitted to the accomplishment of tests of granulometry, limits of consistency, X-ray diffraction and fluorescence of X-rays with the use of the equipments and the techniques of characterization adopted in the laboratory of PPGEM-IFPI. The soil-cement bricks with the incorporation of babassu coconut fiber that were produced by a simple and manual press underwent a characterization process, through dimensional analysis, simple compressive strength, water absorption and compaction pressure tests. The results showed that addition of babassu coconut fiber in the soil-cement brick positively influences the mechanical strength, thus obtaining a suitable material for the masonry construction system without structural function.

Keywords: Single-cement brick. Babassu coconut fiber. Test.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fluxograma do processo de fabricação do tijolo solo-cimento.....	18
Figura 2	– Fases encontradas no solo.....	20
Figura 3	– Estado do solo em função do seu teor de umidade.....	23
Figura 4	– Palmeira do babaçu.....	27
Figura 5	– Composição do coco babaçu.....	28
Figura 6	– Estrutura das fibras vegetais.....	31
Figura 7	– Teste da queda da bola: aspectos do espalhamento, em função do tipo de terra (argilosa, à esquerda e arenosa à direita)	33
Figura 8	– Amostra do solo coletado para pesquisa.....	35
Figura 9	– Estufa para secagem do solo.....	36
Figura 10	– Peneira nº 4.....	36
Figura 11	– Pesagem da amostra do solo.....	37
Figura 12	– Agitador de peneiras.....	38
Figura 13	– Ensaio de decantação.....	39
Figura 14	– Massa do resíduo do solo após decantação.....	39
Figura 15	– Amostras de solo e capsulas de alumínio.....	40
Figura 16	– Aparelho de casa grande.....	41
Figura 17	– Máquina para extração da fibra de coco babaçu.....	43
Figura 18	– Prensa manual para produção de tijolo ecológico.....	43
Figura 19	– Identificação dos tijolos após a prensagem.....	45
Figura 20	– Pesagem do corpo de prova seco.....	45
Figura 21	– Corpos de prova imersos em água... ..	47
Figura 22	– Serragem dos tijolos ao meio.....	47
Figura 23	– Capeamento das faces dos corpos de prova.....	49
Figura 24	– Ensaio de resistência à compressão simples.....	49

Figura 25	– Mini casas para análise conforto térmico.....	50
Figura 26	– Termômetro infravermelho.....	50
Figura 27	– Curva de Granulometria do solo.....	51
Figura 28	– Gráfico de Limite de Liquidez	52
Figura 29	– Difração de raios-x do solo.....	53
Figura 30	– Micrografia por MEV da fibra do coco babaçu com aumento de 200x.....	54
Figura 31	– Micrografia obtida por MEV da fibra de coco babaçu em aumento de 500x.....	55
Figura 32	– Gráfico comparativo do ensaio de absorção para corpos de prova no período de cura de 7 dias.....	57
Figura 33	– Gráfico comparativo das resistências obtidas no ensaio de compressão simples.....	58
Figura 34	– Gráfico da resistência à compressão média dos corpos de prova com 2% da fibra de coco babaçu.....	59
Figura 35	– Detalhe do aspecto da fratura do corpo de prova.....	60
Figura 36	– Comparação da temperatura média por parede, para recintos construídos sem e com adição da fibra de coco babaçu.....	64
Figura 37	– Comparação da temperatura média por turno, para recintos construídos sem e com adição da fibra de coco babaçu.....	65
Figura 38	– Detalhe do aspecto da fratura do tijolo solo-cimento sem adição da fibra de coco babaçu.....	66
Figura 39	– Detalhe do aspecto da fratura do tijolo solo-cimento com adição da fibra de coco babaçu.....	67
Figura 40	– Comparação da temperatura média por parede nos recintos construídos sem e com adição da fibra de coco babaçu.....	69
Figura 41	– Comparação da variação da temperatura média por turno nos recintos construídos sem e com adição da fibra de coco babaçu...	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Faixa granulométrica.....	21
Tabela 2	– Especificação do solo para produção de tijolo solo-cimento.....	23
Tabela 3	– Limites especificados para tijolos de solo-cimento segundo ABNT..	32
Tabela 4	– Corpos de prova produzidos para 7 dias de cura.....	42
Tabela 5	– Quantificação da dosagem nos tijolos ecológicos.....	44
Tabela 6	– Tipos e dimensões nominais.....	46
Tabela 7	– Determinação da umidade do solo.....	54
Tabela 8	– FRX da amostra do solo.....	56
Tabela 9	– Análise racional do solo estudado.....	56
Tabela 10	– Dimensões médias dos tijolos ecológicos para as amostras ensaiadas	58
Tabela 11	– Teste de resistência à compressão simples com tijolo sem adição de fibra de coco babaçu.....	61
Tabela 12	– Teste de resistência à compressão simples com tijolo na formulação de 0,5% de fibra de coco babaçu.....	62
Tabela 13	– Teste de resistência à compressão simples com tijolo na formulação de 1% de fibra de coco babaçu.....	62
Tabela 14	– Teste de resistência à compressão simples com tijolo com formulação de 1,5% de fibra de coco babaçu.....	63
Tabela 15	– Teste de resistência à compressão simples com tijolo com formulação de 2% de fibra de coco babaçu.....	63
Tabela 16	– Temperaturas em °C para um ambiente de alvenaria construído com tijolo ecológico sem adição da fibra de coco babaçu.....	68
Tabela 17	– Temperaturas em °C para um ambiente de alvenaria construído com tijolo ecológico incorporado em 1,5% da fibra de coco babaçu.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
AIFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
UFPI	Universidade Federal do Piauí
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
LC	Limite de Contração
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
FRX	Fluorescência de raios-X
MPa	Mega Pascal

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

°C Grau Celsius

° Ângulo

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	OBJETIVOS DA PESQUISA.....	16
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1.	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO.....	18
3.2.	SOLO	19
3.3.	ESTABILIZAÇÃO DO SOLO	23
3.4.	BABAÇU	26
3.5.	SOLO-REFORÇO	29
3.6.	NORMATIZAÇÃO	31
3.7.	DOSAGEM DO SOLO-CIMENTO	32
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1.	SOLO.....	35
4.2.	LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE.....	39
4.3.	ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	40
4.4.	ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....	41
4.5.	PROCESSAMENTO DA FIBRA DE COCO BABAÇU.....	41
4.6.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	42
4.7.	PROCESSO DE COMPACTAÇÃO E CURA DOS CORPOS DE PROVA.....	42
4.8.	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	43
4.9.	ENSAIO RELATIVO ÀS DIMENSÕES DOS TIJOLOS	

	ECOLÓGICOS	46
4.10.	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS TIJOLOS	46
4.11.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	48
4.12.	ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO	50
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
5.1.	DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA.....	52
5.2.	DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE.....	53
5.3.	ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	55
5.4.	ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....	56
5.5.	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FIBRA DE COCO BABAÇU (MEV).....	57
5.6.	ANÁLISE DIMENSIONAL DO TIJOLO ECOLÓGICO.....	58
5.7.	ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	60
5.8.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	61
5.9.	ANÁLISE PRELIMINAR DOS CORPOS DE PROVA.....	66
5.10.	ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO.....	67
6.	CONCLUSÃO.....	71
6.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	72
	REFERÊNCIAS.....	74

1. INTRODUÇÃO

Considerando o problema da moradia no Brasil, face ao enorme déficit habitacional presente na maior parcela da população com baixo poder econômico e social, busca-se criar alternativas para o crescimento e a geração de empregos que possibilitem reduzir a quantidade de famílias sem moradias. Em razão disso, a utilização de tijolos ecológicos fabricados a partir de prensas manuais ou hidráulicas com a aplicação de técnicas simples e manuseio de fácil aprendizado permite o desenvolvimento de um produto com baixo custo, boa qualidade, durabilidade e garantia de aceitação do ponto de vista comercial.

Os tijolos solo-cimento são recomendados para serem utilizados no setor da construção civil uma vez que os materiais são de fácil obtenção, o sistema construtivo é simples e o investimento em equipamentos é mínimo (CEPED, 1999).

Quanto ao aspecto construtivo, os dois furos no tijolo ecológico proporcionam isolamento térmico, acústico e proteção contra umidade, pois formam câmaras de ar. Os tijolos ecológicos quando sobrepostos no assentamento, formam dutos por onde são passados os fios e as tubulações, evitando rasgos nas paredes e garantindo uma maior economia de materiais e mão-de-obra (FERRAZ, 2004).

O tema da pesquisa desse trabalho trata-se de estudar as propriedades e características dos tijolos ecológicos com adição de diferentes teores de fibra de coco babaçu, tendo por finalidade produzir um material que seja benéfico, financeiramente, em termos de gastos com mão-de-obra e tempo de fabricação, servindo como alternativa em projetos sociais que buscam agilidade de construção de moradias para favorecer famílias de baixa renda.

A construção de casas populares a partir do uso de tijolos solo-cimento, também conhecidos como tijolos ecológicos, vem sendo bastante difundido em razão de sua rápida fabricação por meio de prensas manuais ou hidráulicas com aplicações de técnicas simples e soluções viáveis, podendo ser produzidos no próprio canteiro de obra sem a necessidade de mão de obra especializada, além de que a qualidade e a regularidade da forma final da peça asseguram uma economia no consumo de argamassa e revestimentos.

O tijolo ecológico é um material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções adequadas resultando em um material com boa resistência mecânica, índice de absorção de água, pequena

retração volumétrica e uma durabilidade satisfatória compatível com as recomendações de normas técnicas (KAROLINA, 2010).

Em termos do tijolo solo-cimento, o solo é o material que apresenta maior quantidade de matéria-prima, devendo ser escolhido de modo que permita o menor teor possível de cimento. Os solos consistem em agregados complexos de materiais inorgânicos e resíduos orgânicos de composição mineralógica distinta para cada região.

A incorporação de aditivos ou resíduos em tijolos solo-cimento já vem sendo empregado em pesquisas científicas, obtendo-se resultados satisfatórios e positivos em relação às propriedades tecnológicas sem contar com os benefícios que podem ser obtidos em termos de preservação ambiental.

Nos últimos anos notou-se um crescimento acentuado no desenvolvimento de materiais reforçados por fibras vegetais, pelo fato de estas serem uma fonte renovável, biodegradável e de baixo custo além de provocar menor impacto ambiental (MATTOSO et al., 1996).

O Brasil apresenta uma das maiores biodiversidades do mundo e possui uma grande extensão territorial cultivável com diversas potencialidades que podem ser exploradas adequadamente, merecendo destaque o uso da fibra de coco babaçu devido a possibilidade deste material ser utilizado como reforço para produção de tijolos ecológicos e, assim, serem capazes de atuar como substitutos dos tijolos convencionais, tendo em vista as soluções de caráter ambiental, técnico e financeiro.

No Piauí há uma enorme área de palmeiras nativas de babaçu, no entanto, ainda com pouca utilização econômica em razão dos diversos benefícios que podem ser obtidos com o seu cultivo e exploração. Pretende-se então, com o emprego das fibras nativas da região a possibilidade de utiliza-las como elemento de crescimento econômico. No Piauí o uso de fibras naturais é incipiente, sendo sua utilização principalmente em peças de artesanato, com poucas aplicações industriais, com exceção de fabricação de cordas e vassouras, em pequena escala.

2. OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1. OBJETIVO GERAL

- Analisar a viabilidade da utilização da fibra de coco babaçu numa mistura de solo-cimento, visando proporcionar uma matéria-prima alternativa para produção deste material.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização física, química e mineralógica das matérias-primas;
- Preparar os corpos de prova a partir da mistura solo-cimento com adição de quatro distintas formulações da fibra de coco babaçu;
- Apresentar dados de resistência mecânica, absorção e análise dimensional do tijolo ecológico com variação do tempo de cura;
- Realizar ensaio do conforto térmico em um ambiente de alvenaria construído por tijolos ecológicos com e sem fibra de coco babaçu.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A ABNT na norma NBR 12023 (1992) define o solo-cimento como um produto endurecido resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através da dosagem, executada conforme NBR 12253 (1992).

De acordo com Pires (2004), o solo-cimento é uma mistura íntima e bem proporcionada de solo com aglomerante hidráulico artificial denominado cimento Portland, de tal modo que haja uma estabilização de solo pelo cimento, melhorando as propriedades da mistura.

Aio et al. (2004) apud Silveira (1966), afirmam que os principais fatores que afetam as propriedades do solo-cimento são: tipo de solo, teor de cimento, teor de umidade, compactação e homogeneidade da mistura, além de outros fatores como o tempo de cura da mistura.

O tijolo solo-cimento é considerado como ecológico uma vez que sua fabricação não utiliza o processo de queima, desta forma elimina o uso de óleo combustível ou madeira. Isto evita a emissão de grandes poluentes atmosféricos causadores do efeito estufa no ambiente e o desmatamento.

Deve-se ressaltar que a utilização de tijolos ecológicos para construção de alvenaria convencional é dispensável o uso de chapisco, emboço e reboco diminuindo o desperdício de materiais de construção civil.

O tijolo ecológico pode ser visto como uma opção para que a região do Piauí tenha seu crescimento de maneira sustentável, utilizando este produto a fim de diminuir os impactos ambientais negativos provenientes de materiais cerâmicos tradicionais, visando um ganho econômico em termos de custos operacionais, além de permitir que essa região seja promissora para desenvolver projetos nesse segmento.

O cimento é um dos integrantes na fabricação de tijolos ecológicos, por isso torna-se importante verificar o teor necessário para incorporação no solo junto com a água, uma vez que a resistência mecânica é influenciada pela quantidade de cimento. No entanto, pesquisas científicas de trabalhos anteriores voltadas para esse tema sugerem a possibilidade de que aditivos diminuam ainda mais o teor necessário de cimento na composição do tijolo ecológico.

A crescente procura pelo desenvolvimento sustentável, o fato de os recursos naturais serem finitos, desenvolvimento de arquiteturas ecológicas, reaproveitamento de resíduos industriais e redução de custos fazem com que os tijolos solo-cimento venham a ser cada vez mais aproveitado em diversos segmentos na construção civil.

3.1. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

O processo de fabricação de tijolos ecológicos compreende uma série de etapas bem definidas, de acordo com o fluxograma mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do processo de fabricação do tijolo solo-cimento



Fonte: Gomes (2006).

A escolha do local da jazida para a retirada do solo deve ser feita em um ponto estratégico, uma vez que, quanto mais perto da unidade consumidora menor será o custo final para aquisição do produto. Para a produção de tijolo ecológico o solo arenoso é o mais indicado, geralmente entre 50 a 70% do teor de areia no bloco modular, pois reduz a quantidade de cimento necessária para a sua estabilização.

Deve-se ressaltar que esse solo deve ser isento de matéria orgânica, pois afeta de maneira negativa as propriedades finais do tijolo. No peneiramento as raízes,

os torrões e pedregulhos são eliminados do solo, conferindo melhor qualidade ao tijolo (SILVA, 2005).

Em seguida, é realizada a preparação da massa na qual o solo seco e peneirado é colocado junto ao cimento até que seja obtida uma colocação uniforme. Apenas após esse procedimento, a água é inserida na mistura tornando-se homogênea e compacta. Esta homogeneização da mistura é necessária para que as propriedades do tijolo solo-cimento sejam iguais em todo volume (PISANI, 2004).

Essa massa homogênea é inserida em um molde ou matriz da prensa, em que haverá a conformação do tijolo. Nesse estágio, a pressão de compactação deve ser controlada visando aperfeiçoar as propriedades inerentes do tijolo.

Deve-se notar que quanto maior a compactação da mistura, menor será a quantidade de cimento necessária para que ela desenvolva altas resistências além de proporcionar um melhor acabamento ao tijolo (CEPED, 1999).

Na etapa de cura, o tijolo ecológico deve ser umedecido por aspersão manual em local de preferência coberto com proteção de chuva, sol e vento a fim de permitir que ocorra um processo de ganho de resistência do material devido à hidratação do cimento.

Para o período de cura é estipulado um tempo mínimo de sete dias, de tal forma que a mistura prensada sofra um processo de endurecimento e obtenha a resistência desejada. No entanto, à medida que se aumenta o período de cura haverá uma tendência para a melhoria nas propriedades finais do tijolo ecológico.

O processo de cura é de grande importância para que o tijolo ecológico ofereça boas características, porque se houver uma secagem excessiva desse bloco modular poderá causar uma diminuição na resistência, acompanhada do surgimento de trincas, fissuras e esfarelamento superficial.

3.2. SOLO

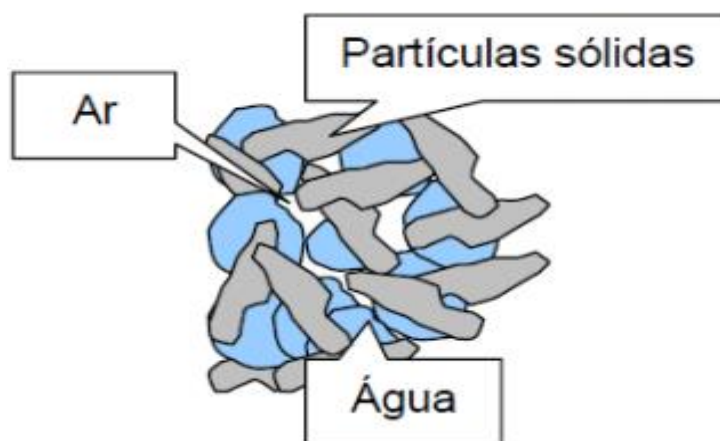
O solo é uma definição genérica de um material não consolidado da camada superficial da terra, formado a partir de condições atmosféricas, água, alterações de temperatura e decomposições químicas que promovem a transformação das rochas em solo.

Na composição do tijolo ecológico, o solo é o elemento que possui maior proporção na mistura. A princípio qualquer solo pode ser utilizado, mas ele deve ser

escolhido de modo que a quantidade de cimento necessária para a sua estabilização seja a menor possível, reduzindo o custo final do tijolo (SOUZA, 2006).

Pode-se definir o solo como uma estrutura porosa contendo partículas sólidas, líquidas e gases, a Figura 2 exemplifica os principais constituintes do solo.

Figura 2 – Fases encontradas no solo



Fonte: Gomes (2006).

Segundo Cebrace (1981), o solo é composto por diversos minerais como: a areia (partículas pequenas e muito resistentes, ou seja, duras); o silte (partículas mais finas que a areia); e as argilas (silicatos de alumínio, constituintes do barro). Deve-se ressaltar que as substâncias sólidas presentes no solo, insolúvel em água, é formado por matérias orgânicas e teores de minerais, sendo estes organizados em duas classes: os inertes, ou seja, a porção grossa e os argilominerais, que promovem a reação química espontânea com o cimento e garantem plasticidade e coesão do solo. Ao longo do tempo, o solo vem sendo classificado de várias formas em função de sua grande variedade de aplicações e devido à composição de seus elementos com uma ampla faixa de granulometria. A qualidade dos tijolos ecológicos está diretamente relacionada com a textura do solo e, portanto, devem ser avaliadas as frações de grãos por peneiramento e sedimentação para o estudo de suas propriedades físico-mecânicas.

Na Tabela 1 é apresentada a classificação das partículas do solo de acordo com seu tamanho:

Tabela 1 – Faixa granulométrica

Classificação	Diâmetro da partícula (mm)
Pedregulho	60 – 2
Areia grossa	2 – 0,6
Areia média	0,6 – 0,2
Areia fina	0,2 – 0,06
Silte	0,06 – 0,002
Argila	Inferior a 0,005

Fonte: NBR 6502, ABNT 1995.

Segundo Pinto (1980), para a fabricação de tijolos ecológicos o solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, sendo que os solos arenosos bem graduados e com razoável quantidade de silte mais argila, são os mais indicados uma vez que exigem baixo consumo de cimento. Já a Portland Cement Association (PCA, 1969) considera excelentes os solos arenosos e pedregulhos, contendo de 65 a 90% de areia e quantidade de silte mais argila variando de 10 a 45%. No entanto, quando o solo não possuir as características citadas anteriormente, recomenda-se efetuar uma correção granulométrica por meio da adição de um solo arenoso ou areia pura, de modo que o resultado seja favorável técnica e economicamente.

As características inerentes ao solo devem ser observadas por meio das propriedades de resistência e consistência em termos de maior ou menor capacidade de ser moldado sobre certas condições de umidade. É de suma importância ter conhecimento sobre as propriedades do solo, composição mineralógica, granulométrica e a estrutura morfológica uma vez que são características essenciais para o estudo e aplicação do solo como material de construção. Segundo Ferraz (2004), as partículas do solo são assim classificadas:

- Pedregulho e areia: são sólidos de quartzo (SiO_2 cristalina) de formas arredondadas ou angulares e com rugosidade superficial, que mobilizam o atrito interno entre os grãos, conseqüentemente, propiciam maiores resistências aos esforços mecânicos.
- Silte: são sólidos de forma achatada ou poliédrica que apresentam pouca ou nenhuma plasticidade e propiciam a diminuição do atrito interno devido ao rearranjo interno das partículas ao sofrer compactação.

- Argila: são partículas lamelares ou alongadas, quimicamente ativas e denominadas argilominerais. Apresenta grande superfície específica, alto grau de plasticidade e pode ser constituída por três frações principais: caulinita, illita e montmorilonita.

Outro aspecto importante para caracterizar o solo é quanto a sua plasticidade e limite de liquidez. O limite de liquidez é o teor em água acima do qual os solos iriam apresentar comportamento de líquido e o limite de plasticidade é o teor de umidade abaixo do qual o solo do estado plástico passa para o estado semissólido perdendo sua capacidade de ser moldado e tornando-se quebradiço (GREGORIO, 2012).

Deve-se ressaltar que alguns argilo-minerais, como a montmorilonita, são muito expansivos, por isso solos argilosos necessitam de uma grande quantidade de cimento para a sua estabilização, não sendo conveniente para a fabricação de tijolos (BARBOSA, 2000).

A distribuição granulométrica da areia apresenta características mais convenientes para a fabricação de tijolos, pois proporciona uma melhoria na densidade de prensagem da mistura, afetando as propriedades finais do produto. Isso ocorre devido à composição da areia ser um material resistente e inerte, com função apenas de enchimento, favorecendo a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerarem com grãos menores do solo.

Rocha (1996), Silva (2001) e Lins (1994) afirmam que essa nova configuração do solo após a compactação afeta significativamente as características mecânicas e, conseqüentemente, a porosidade e a permeabilidade do material.

Para a análise dos limites de liquidez e plasticidade foram desenvolvidos ensaios, visando à medição do teor de umidade do solo nos diversos estados de consistência.

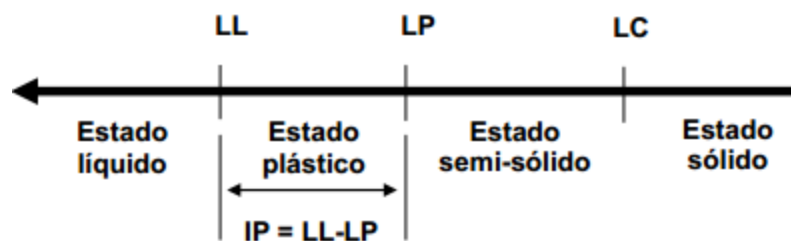
Os limites de Atterberg consistem na determinação dos teores limite de umidade entre os estados de consistência líquido, plástico, semissólido e sólido para a caracterização de um solo quanto ao seu comportamento em relação a variações do teor de umidade (YOCHIO, 2015). Esses limites de Atterberg são divididos em:

- Limite de liquidez (LL): teor de umidade que corresponde à transição entre a condição de consistência fluida e o estado plástico;
- Limite de plasticidade (LP): teor de umidade abaixo do qual o solo torna-se quebradiço, ou seja, adquire uma condição semissólido;
- Limite de contração (LC): limita a umidade entre o estado semissólido

e o estado sólido.

O índice de plasticidade corresponde ao teor de umidade dentro do qual o solo possui plasticidade, sendo calculado pela diferença numérica entre LL e LP, esquema está ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Estado do solo em função do seu teor de umidade



Fonte: Pires (2004).

É importante ter conhecimento sobre essas características físicas uma vez que de acordo com a NBR 10832 (1989) para a confecção do tijolo ecológico, o solo deve atender a alguns requisitos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Especificação do solo para produção de tijolo solo-cimento

Características	Condições (%)
% do solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm (n.º4)	100
% do solo que passa na peneira ABNT 0,075mm (n.º200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: Adaptado de NBR 10832 (1989).

3.3. ESTABILIZAÇÃO DO SOLO

O emprego do solo apenas compactado oferece boas qualidades isolantes e

resistentes, no entanto, para a sua utilização como material de construção civil alguns problemas podem surgir uma vez que o solo apresenta propriedades muito complexas e heterogêneas. A grande limitação do solo consiste na sua vulnerabilidade à umidade e pelo fato de sofrer erosão devido à ação do intemperismo externo.

O termo “estabilização do solo” corresponde a qualquer processo, natural ou artificial, pelo o qual um solo sob o efeito de cargas aplicadas, se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento do que o solo primitivo.

Basicamente, o tipo de método para a estabilização dos solos tende a proporcionar uma melhor estabilidade dimensional, aumento das propriedades mecânicas para determinada faixa de utilização, redução do volume de vazios e, conseqüentemente, diminuição da porosidade além de uma melhoria da coesão das partículas do solo visando o controle da fissuração por retração de secagem.

Segundo Henriques (2009) a estabilização pode ser de 4 tipos diferentes:

- Mecânica – rearranjo das partículas do solo com auxílio de equipamento, podendo ser citado a densificação por compressão (compactação). Os resultados desse método afetam a densidade, a resistência mecânica, a compressibilidade, a permeabilidade e a porosidade.
- Física – alteração na textura do solo a partir de misturas de grãos, adição de fibra ou tratamento químico. Esse método aperfeiçoa as proporções entre areia, silte e argila, fato que permite uma melhoria no empacotamento dos grãos.
- Química – Introdução de produto químico alterando as características do solo através de reações entre partículas do próprio solo.
- Mista – Combinação de alguns tipos de estabilização anterior.

Quando o cimento é utilizado como agente estabilizante do solo, ocorre reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento com estruturas argilominerais do solo produzindo uma agregação que preenche os vazios da massa e une grãos adjacentes do solo conferindo resistência inicial.

O processo de estabilização do solo após a mistura com o cimento resulta numa queda acentuada da plasticidade do solo original.

Apesar da fração argilosa do solo garantir uma plasticidade inicial elevada, a sua redução é causada em função de liberação de partículas de íons de cálcio devido à reação de hidratação do cimento, ocorre uma troca de cátions, ou devido uma

saturação cátions presentes na argila que formam conglomerados cujos diâmetros são muito superiores aos das partículas naturais.

Se a compactação da mistura de solo e cimento ocorrer na presença de umidade dá-se o nome cimentação. A cimentação aumenta de intensidade com o desenvolvimento das reações de hidratação do cimento e pode ser definida como a ligação ou encadeamento químico entre grãos de cimento vizinhos com partículas de solo adjacentes a eles (HENRIQUES, 2009).

Um dos mais importantes princípios da mecânica dos solos diz que a densidade de um solo compactado é função do teor de umidade presente no momento da mistura solo e cimento. Para uma energia de compactação constante, ao se adicionar água ao solo, sua densidade aparente aumentará até certo ponto, chamado umidade ótima.

A umidade ótima de compactação tem por consequência o aumento da massa específica do material, motivo esse que pode exercer influência na resistência mecânica do mesmo. No entanto, ao acrescentar teores de umidade acima do ótimo, a densidade torna reduzir, pois o excesso de água absorve parte da energia de compactação e redistribui ao sistema, afastando as partículas sólidas.

De acordo com França (2003), a estabilização tipo solo-cimento é produto da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas que, após a compactação e o processo de cura, resulta em um produto com características mínimas exigidas de resistência mecânica e durabilidade.

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) os procedimentos da mistura de solo e cimento para a confecção de blocos, tijolos e canaletas devem ser:

- Preparação do solo (destorroamento, pulverização e peneiramento);
- Preparação da mistura (homogeneização seca e homogeneização da umidade);
- Moldagem.

Após realizar todos esses procedimentos, a compactação do solo é de grande importância para conseguir resultados satisfatórios durante a cimentação. Para que isso ocorra de forma correta, é necessária a observação da influência do teor de umidade na compactação do solo e cimento, já que o peso específico dessa mistura proporciona uma resistência significativa na alvenaria. Existem duas maneiras distintas de estabilização com cimento, uma consiste em utilizar um solo

predominantemente fino e a outra com solo granular.

Os solos mais arenosos são os que requerem menores teores de cimento para estabilizarem, sendo necessária a presença de argila na sua composição, para garantir uma maior coesão entre as moléculas preenchendo vazios a fim de agir de forma integral na ligação entre os grãos.

Os solos granulares sofrem estabilização pela cimentação nos locais de contato entre os agregados que fazem parte de sua composição (areia pedregulho ou pedra). A estrutura cimentada dos solos granulares forma-se por um processo similar ao do concreto, nesta estrutura, a pasta não ocupa todos os vazios pela quantidade cimento e água empregada, dando a ela uma menor resistência quando comparada ao concreto, por ter um maior número de vazios e menor densidade (CARVALHO, 2014).

Os solos finos requerem maiores teores de cimento para a sua estabilização se comparados aos solos grossos, pelo fato de apresentarem maior superfície específica por unidade de volume, para uma dada relação água/cimento (LOPES, 2002).

Além disso, as propriedades físico-mecânicas (resistência à compressão, durabilidade e absorção de água) do sistema solo-cimento após a estabilização, estão intimamente relacionadas com o processo de cura (umidade e temperatura) e a compactação da mistura, devendo-se ter o cuidado de trabalhar com um teor de umidade ótima para obtenção de máxima densidade, de modo a formar um material estruturalmente resistente e durável.

3.4. BABAÇU

A palmeira de babaçu presente em grande parte da região Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, pode chegar aproximadamente a 20 m de altura e costuma produzir mais de 300 a 500 frutos (cocos) em cada safra. Os cocos babaçu tem formato elipsoidal, coloração castanha, pesando entre 90 a 280g cada (ALBIERO et al., 2007; TEIXEIRA, 2008). A Figura 4 mostra a palmeira de babaçu e os cachos de cocos babaçu.

Figura 4 – Palmeira do babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

A palmeira de babaçu é encontrada principalmente na zona de transição entre as florestas úmidas da bacia amazônica e o cerrado do nordeste brasileiro, conhecida como matas de cocais, alcançando cerca de 18 milhões de hectares, distribuídos nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Amazonas e Pará (SOUSA, 2016).

A região compreendida pelos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins é vista como a maior concentração de palmeiras de babaçu e fonte da maior produção extrativista vegetal, sendo conhecida como Mata dos Cocais. A ocorrência do babaçu nesses estados brasileiros é justificada pela tolerância a climas com temperaturas elevadas e constantes e precipitações pluviométricas acima de 1.000 mm anuais, condições verificadas, especialmente, nas regiões de cerrado, cocais e baixadas (SILVA, 2006).

O cultivo do babaçu permite a obtenção de diversos subprodutos que vão desde a produção de óleo vegetal para uso doméstico até a fabricação de polímeros sintéticos, e tem sido aplicado em indústrias do setor de perfumaria, saboaria, biocombustíveis e, principalmente, de alimentos.

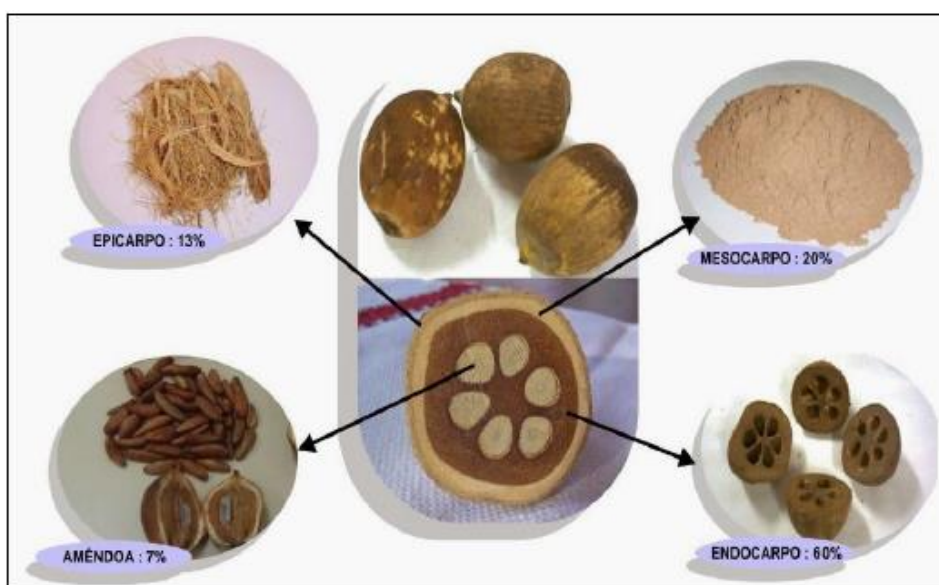
Apesar da potencialidade do babaçu, medida pela dimensão de ocorrência já disponível e nobreza das várias aplicações já testadas, a exploração do coco de

babaçu ainda é realizada artesanalmente, onde milhares de mulheres, pela sua condição de miséria, se submetem a quebrar manualmente o coco e chegam a produzir aproximadamente 1 kg por hora (RANGEL, 2012).

A coleta de babaçu é feita assim que os frutos maduros começam a cair no chão. O babaçu é constituído de quatro partes principais: o epicarpo, o mesocarpo, o endocarpo e o fruto (amêndoa).

A amêndoa do babaçu pode ser extraída de diversas formas, mas em geral, a sua retirada é feita com o auxílio de um machado e um pedaço de madeira (porrete) para desferir golpes de martelamento, resultando na “quebra” do coco. O babaçu é um fruto que pode ser integralmente aproveitado. Na Figura 5 mostra o coco babaçu com seus respectivos componentes.

Figura 5 – Composição do coco babaçu



Fonte: Babcoall (2018).

O epicarpo ou casca, também denominado pelas quebradeiras de coco como “capela do coco” constitui 12% do peso do fruto, pode ser usado como biomassa para produção de biocombustível ou para queima em fornos caseiros e comerciais. O epicarpo é uma camada externa constituída de fibras de excelente qualidade, sendo as mesmas utilizadas para o presente trabalho.

O mesocarpo ou polpa (massa que fica entre o epicarpo e o endocarpo), devido a sua composição química, com seu elevado teor de amido pode ser utilizado para alimentação humana, de animais e como aglomerante para fabricação de

briquetes.

O endocarpo que constitui 60% do peso do fruto produz um carvão vegetal de excelente qualidade com poder calorífico superior ao carvão metalúrgico sendo produzido e utilizado em várias regiões do nordeste brasileiro (PATRÍCIO, 2010).

As amêndoas correspondem a 7% do peso do fruto e produzem óleo rico em ácido láurico, responsável pelo seu uso em cosméticos, produtos de limpeza e alimentos.

O epicarpo do coco babaçu, por possuir natureza fibrosa e lignocelulósica, tem sido explorado em pesquisas científicas como reforço em materiais compósitos, influenciando nas propriedades físicas e mecânicas (SOUSA, 2016).

3.5. SOLO-REFORÇO

As fibras podem ser definidas como sendo materiais que têm uma geometria aproximadamente uniforme, diâmetro minúsculo em relação ao seu comprimento, e com natureza bastante diferenciada, variando em função de suas propriedades físico-químicas (SILVA, 2006).

Segundo Patrício (2010), o aproveitamento de uma fibra como matéria prima baseia-se em propriedades como: capacidade de alongamento, resistência à temperatura, resistência mecânica, densidade, baixo custo, disponibilidade, entre outras.

Nenhuma das fibras conhecidas satisfaz todas essas exigências, portanto, cada fibra está adequada apenas à confecção daqueles produtos que exigem propriedades específicas (MENDES, 2002).

Segundo Trindade et al. (2004), quanto ao uso de fibras na área geotécnica, a bibliografia relata ganhos de resistência e confirma a ação de fibras como meio de aumentar a ductilidade dos solos. Com esse propósito, foi utilizado um solo argiloso reforçado com fibras de coco babaçu, aleatoriamente distribuídas, com tamanhos entre 40 e 50 mm e teores de 0,5, 1, 1,5 e 2% em relação à massa da mistura de solo-cimento.

Os fatores envolvidos nos ensaios de compactação nos blocos modulares dos tijolos ecológicos estão relacionados com o comprimento das fibras, a homogeneidade e o teor de umidade da mistura do solo-cimento. Deve-se ressaltar que o uso de fibras longas dificulta a compactação, tornando o compósito quebradiço, ocorrendo à

formação de planos preferenciais de ruptura e este fenômeno é tanto mais frequente, quanto maiores forem o teor e o comprimento das fibras (VAN, 2007).

Uma das principais características das fibras consiste em proporcionar um reforço mecânico na matriz em que está inserida, a fim de absorver mais energia. A incorporação de fibras juntos ao solo possibilita dar uma coesão aparente na mistura, que permite elevar a resistência ao cisalhamento do tijolo ecológico e, também, a sua resistência à tração.

Os principais fatores que devem ser avaliados para um bom desempenho dos tijolos solo-cimento com adição de fibras, envolvem o estudo dos teores destas (valores favoráveis até certo limite) e seu módulo de elasticidade, coesão e aderência de aglomerante entre a fibra e a matriz, composição e as suas dimensões.

Tanto a composição de células de uma biomassa vegetal quanto o cimento possuem características e propriedades que interferem no comportamento do compósito podendo criar incompatibilidades que devem ser verificadas e estudadas. Dependendo do tipo de aplicação, consegue-se empregar tratamentos químicos a fim de proteger a matéria orgânica da fibra vegetal contra a agressividade, por exemplo, do meio alcalino ocasionado pelo cimento ou até mesmo reduzir ou inibir as reações de pega e enrijecimento do cimento.

Todas as fibras obtidas para a realização deste trabalho não sofreram nenhum tipo de tratamento específico, sendo aplicado apenas um processo de descascamento feito à mão e logo em seguida elas foram lavadas, secadas e avaliadas através do toque e inspeção visual contra luz.

Segundo Patrício (2010), as fibras são feixes de moléculas constituídas por células individuais que, por sua vez, são aglomeradas pela lamela intercelular, composta de hemicelulose, pectina e, principalmente lignina.

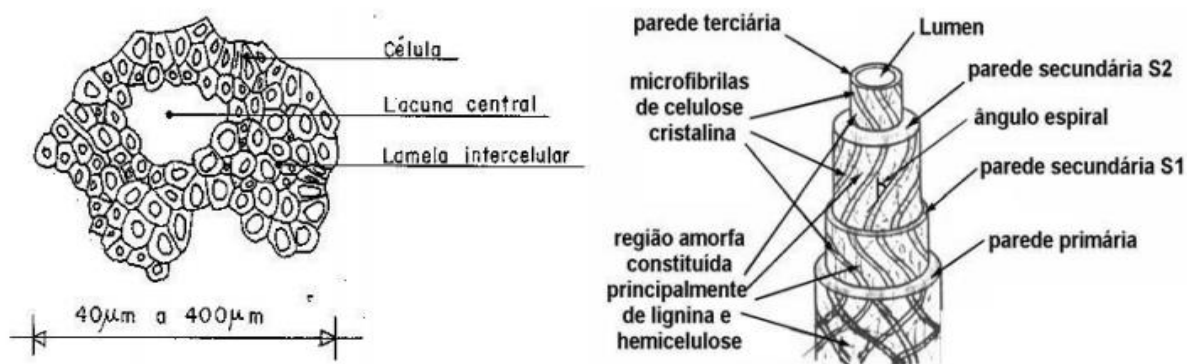
As lacunas e os lúmens são responsáveis pela grande incidência de poros permeáveis na fibra, o que acarreta elevada capacidade de absorver a água e massa específica aparente inferior a real (AGOPYAN, 1997).

As fibras vegetais são constituídas de cadeias moleculares longas, formando uma vasta região altamente ordenada (celulose cristalina) e uma região menor ordenada (lignina não cristalina) resultando numa estrutura extremamente fibrosa, e longos cristais na forma de hélice em espirais são envolvidas por uma região amorfa composta de hemicelulose (Mendes, 2002).

De acordo com Coutts (1992), existem quatro camadas de microfibrilas, que

são: na parede primária, a orientação das microfibrilas é geralmente dispersa; na parede secundária S1, verifica-se uma crescente e maior regularidade de orientação das microfibrilas orientadas axialmente com relação ao eixo da célula; na parede secundária S2 as microfibrilas estão orientadas segundo um ângulo espiral; na parede terciária, pode apresentar camadas alternadas com diferentes orientações das microfibrilas, que é conhecido como arranjo helicoidal. Na Figura 6 observa-se essa configuração.

Figura 6 – Estrutura das fibras vegetais



Fonte: Rong *et al.* (2001).

3.6. NORMATIZAÇÃO

O tijolo solo-cimento é normatizado pela ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas. As normas a seguir, foram utilizadas para a execução deste trabalho referente à confecção dos tijolos ecológicos e análise de suas principais características técnicas.

- NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
- NBR 6459 – Solo – Determinação do limite de liquidez.
- NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade.
- NBR 8491 – Tijolo Maciço de solo cimento – Especificação;
- NBR 8492 – Tijolo Maciço de solo cimento – Determinação da resistência à compressão e absorção de água. Métodos de ensaios;
- NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço de solo cimento e bloco vazado de solo cimento com utilização de prensa manual. Procedimento;

- NBR 10834 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural. Especificação;
- NBR 10835 - Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural. – Forma e Dimensões;
- NBR 10836 - Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e absorção de água. Métodos de ensaios.

Para qualificar os tijolos ecológicos, a norma 10834 estabelece critérios para aceitação ou rejeição das amostras de acordo com os ensaios experimentais dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites especificados para tijolos de solo-cimento segundo ABNT.

Valores Limite (aos 28 dias de cura)	Média	Individual
Resistência à Compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de Água	≤ 20	≤ 22

Fonte: NBR 10834 (2012).

3.7. DOSAGEM DO SOLO-CIMENTO

Para o uso do solo-cimento destinado à fabricação de tijolos ecológicos para construção de alvenaria, alguns parâmetros devem ser analisados no momento da dosagem visando à obtenção dos valores mínimos de resistência à compressão e absorção de água definidos por normas.

Existem três parâmetros que influenciam diretamente no resultado da dosagem e se relacionam com as propriedades do solo, merecendo destaque a quantidade de cimento, o teor de umidade ótima e sua granulometria.

Ferraz et al. (2004) advertem que o teor de cimento recomendado por um método de dosagem, por mais rigoroso que se seja, não necessariamente se obterá uma mistura de boa qualidade, visto que para tal devem ser observados fatores intervenientes tais como teor de umidade da mistura, operações de mistura e de compactação, além do tempo e condições de cura.

Segundo Pinto (1980), os procedimentos experimentais preliminares a serem executados para uma dosagem solo-cimento que garanta um tijolo ecológico resistente e durável, consistem nos ensaios da determinação da massa específica,

limites de Atterberg e granulometria.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP(1980), a dosagem do solo-cimento consiste em uma sequência de ensaios seguidos de uma interpretação por meio de critérios estabelecidos na experiência. Através do tato e observação visual, essa dosagem é aprimorada através de outros testes expedidos, convenientemente denominados teste do vidro, do cordão, da fita, de exsudação, da resistência seca, da caixa, entre outros.

Estes testes, que indiretamente avaliam a granulometria, a trabalhabilidade e a retração do solo, verificam a textura e o comportamento da terra em diversas situações e identificam as técnicas construtivas mais adequadas (CEPED, 1999).

O teste tátil-visual foi utilizado como técnica construtiva para a dosagem do solo-cimento a fim de encontrar uma mistura com teor de umidade ótima, favorecendo no processo de moldagem do tijolo ecológico. Para a obtenção de um equilíbrio entre a dosagem e compactação do solo-cimento na máquina de prensa manual disponível no laboratório de cerâmica do IFPI, adotou-se o teste da queda da bola conforme a Figura 7.

Figura 7 – Teste da queda da bola: aspectos do espalhamento, em função do tipo de terra (argilosa, à esquerda e arenosa à direita)



Fonte: CYTED (2005).

O teste da queda da bola indica o tipo de solo em função de sua propriedade de coesão e consiste em:

- Tomar uma porção de terra seca;

- Juntar água e fazer uma bola com diâmetro aproximado de 3 cm;
- Deixar a bola cair, em queda livre, da altura aproximada de um metro;

Esses procedimentos identificam o tipo de solo avaliando a forma de seu espalhamento com base em:

- Terras arenosas espalham-se com esfarelamento (ou desagregação);
- Terras argilosas espalham-se menos e com maior coesão.

O fracionamento dos materiais presentes em uma dosagem de solo-cimento é chamado de traço. Os traços de cimento e das misturas envolvidas para a fabricação dos tijolos ecológicos foram definidos levando-se em consideração práticas desenvolvidas por profissionais e conhecimentos adquiridos por professores e acadêmicos em razão de estudos feitos anteriormente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo são apresentados os materiais utilizados na pesquisa para a formulação e desenvolvimento do tijolo solo-cimento incorporado com resíduo de fibra de coco babaçu. Apresentam-se também a escolha das composições dos traços analisados, os requisitos específicos dos ensaios, equipamentos utilizados e preparação das amostras. Os critérios de seleção para fabricação dos tijolos ecológicos, compreendeu-se nas seguintes etapas: peneiramento do solo; determinação da plasticidade do solo; e escolha do tipo de cimento.

Para a verificação das características físicas e mecânicas dos tijolos ecológicos foram realizados ensaios para determinar a resistência à compressão simples, absorção de água e as dimensões nominais. Esses ensaios são necessários para aceitação e rejeição dos tijolos ecológicos como componentes de alvenaria.

4.1. SOLO

O solo utilizado para a realização deste trabalho (Figura 8) foi retirado de uma jazida situada em um povoado chamado Mucuim, localizado na cidade de Teresina – PI. Após ser coletado, o solo foi encaminhado para o laboratório de cerâmica do IFPI, onde foi submetido a diversos testes com a finalidade de avaliar seus efeitos sobre a qualidade do produto final, o tijolo ecológico.

Figura 8 – Amostra do solo coletado para a pesquisa



Fonte: Autoria própria (2018).

O solo foi espalhado dentro das dependências do laboratório sobre um

material plástico para secagem, sendo posteriormente colocado em uma estufa a 110 °C, durante 24 horas, a fim de eliminar a sua umidade residual conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Estufa para secagem do solo



Fonte: Autoria própria (2018).

A preparação e os procedimentos necessários para a confecção dos tijolos ecológicos seguem a norma brasileira NBR 6457, tais como: secagem, destorroamento e peneiramento de malha (abertura) 4,8 mm. A Figura 10 mostra o peneiramento manual do solo.

Figura 10 – Peneira nº. 4



Fonte: Autoria própria (2018).

A preparação das amostras para a realização dos ensaios de caracterização foi realizada conforme prescrições de materiais e métodos das normas citadas:

- Granulometria por peneiramento e sedimentação NBR 6502 – esse ensaio determina a curva de distribuição granulométrica do solo;
- Determinação do Limite de Liquidez (NBR 6459) e do Limite de Plasticidade (NBR 7180) – esses dois ensaios caracterizam o solo quanto aos índices básicos representativos da plasticidade;
- Determinação da composição do solo através dos ensaios de difração e fluorescência de raios X.

Para a análise granulométrica do solo, feito no Laboratório de Cerâmica do IFPI, coletou-se uma quantidade de 100,15 g de amostra preparada de acordo com o método de ensaio, correspondente à norma NBR 6457 (ABNT, 1984) conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Pesagem da amostra do solo



Fonte: Autoria própria (2018).

A verificação deste ensaio se deu em função da passagem da massa inicial do solo por meio de um agitador de peneiras, marca LUCADEMA, ilustrado na Figura 12. Após 30 minutos de peneiramento, em cada peneira ficaram-se retidas partículas com tamanhos de grãos maior ou igual à mesma e passantes na abertura anterior, além de partículas que passaram por todas as peneiras e ficaram retidas no fundo.

Figura 12 – Agitador de peneiras



Fonte: Autoria própria (2018).

Na segunda etapa do ensaio de granulometria, a massa da amostra do solo que ficou retida em cada peneira e do fundo foi pesada e anotada em uma tabela.

Para a determinação da curva granulométrica as peneiras utilizadas foram ABNT Nº 4, 10, 20, 40, 60, 80, 100 e 200, marca BERTEL, correspondendo ao seguinte conjunto de peneiras: 2,00; 0,85; 0,42; 0,25; 0,18; 0,15 e 0,074 mm. Por meio dessas peneiras foram determinadas as percentagens de solo correspondentes aos determinados diâmetros dos resíduos de partículas que ficaram retidos nos peneiramentos grosso e fino. Desta forma tem-se: pedregulho - material retido na peneira nº 4 (4,8 mm); areia grossa - material retido entre as peneiras nº 4 e nº 10 (2,0 mm); areia média - material retido entre as peneiras nº 10 e nº 40 (0,42 mm); areia fina - material retido entre as peneiras nº 40 e nº 200 (0,074 mm) e a fração fina composta por silte e argila (material passante na peneira nº 200).

O ensaio de decantação foi realizado na porção da amostra do solo que ficou retida na peneira de nº 200 (0,075 mm) para estimar a porcentagem passante de finos (silte e argila).

O método utilizado para esse ensaio consistiu em adicionar água com solo em um recipiente e, em seguida, derramou-se a mistura turva desses materiais até conseguir remover praticamente todos os finos conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Ensaio de decantação



Fonte: Autoria própria (2018).

4.2. LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

Foram realizados ensaios de acordo com as NBR 6459:2016 e NBR 7180:2016, com o intuito de caracterizar o solo quanto aos índices básicos representativos da plasticidade.

O limite de plasticidade foi determinado a partir de amostras de solo fino e seco, utilizando uma placa de vidro e um gabarito metálico para moldagens em cilindros de 3 a 4 mm de diâmetro.

De acordo com a metodologia da norma NBR 7180:2016, utilizou-se cápsulas de alumínio com amostras de solo para serem pesadas e secadas em uma estufa a 110 °C por 12 horas conforme descrito pela Figura 14.

Figura 14 – Amostras de solo e cápsulas de alumínio



Fonte: Autoria própria (2018).

A umidade referente ao limite de plasticidade foi atingida quando os cilindros moldados manualmente, em função do trabalho na superfície lisa da placa de vidro, começam a dar início ao fissuramento.

O ensaio para determinação do limite de liquidez do solo se deu por meio da norma NBR 6459:2016 através de uma técnica experimental aplicada em um aparelho de Casagrande ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Aparelho de Casagrande



Fonte: Autoria própria (2018).

Neste ensaio, as amostras do solo foram misturadas com água e colocadas no recipiente côncavo do aparelho, fazendo uma ranhura de uma extremidade a outra no centro da concha para submetidas a um determinado número de batidas. Para cada nível de umidade, foi verificado o número de batidas até que as bordas da ranhura das amostras unam-se em uma espessura de 1 polegada.

4.3. ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

O ensaio de difração de raios X para caracterização de fases cristalinas na amostra do solo foi realizado em um equipamento da marca Shimadzu de modelo XRD-600 com tubo de Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), que encontra-se no Laboratório de Caracterização dos Materiais do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais. A tensão utilizada foi de 40 kV e a corrente foi de 30 mA, com varredura de 2° a 80° para 2θ , com velocidade de $2^\circ/\text{min}$ e passo de $0,02^\circ/\text{passo}$.

4.4. ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS- X

A amostra do solo foi encaminhada ao Laboratório de Materiais (LABMAT), no IFPI para ser submetida a uma análise química através da técnica de espectrometria de fluorescência de raio-X por meio de um equipamento da marca Shimadzu de modelo EDX-700. É uma técnica de análise qualitativa que foi utilizada para a caracterização dos elementos químicos que compõe o solo em estudo.

De acordo com os resultados de fluorescência de raios X e difração de raios X, foi realizada a análise racional de argilominerais utilizando-se o programa QuantiFases desenvolvido no IFPI por Silva (2015). Por meio deste software, foi possível quantificar as fases cristalinas do solo estudado.

4.5. PROCESSAMENTO DA FIBRA DE COCO BABAÇU

Para a preparação da fibra, inicialmente, foi utilizado uma máquina semiautomática quebradeira de coco babaçu, disponível no Departamento de Engenharia Agrícola da UFPI, para a produção do epicarpo. As fibras extraídas na máquina são grosseiras devido ao próprio processo, em razão de conjunto de martelos desfibriladores e limitou-se ao recolhimento do material em uma peneira de 10 mesh, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 – Máquina para extração da fibra de coco babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

Os cocos babaçu foram colocados, desfibrados e retirados manualmente. Logo em seguida, as fibras foram recolhidas e lavadas para retirada de sujidades aderidas às fibras, sendo submetidas à secagem natural. Após esse processo as fibras estiveram prontas para uso da fabricação do tijolo solo-cimento.

4.6. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A micrografia através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da fibra foi feita objetivando verificar a estrutura interna da mesma, utilizando-se para isto um microscópio eletrônico de marca SHIMADZU modelo SSX-500, com capacidade de aumento de até 300.000x vezes.

4.7. PROCESSO DE COMPACTAÇÃO E CURA DOS CORPOS DE PROVA

As amostras foram moldadas de acordo com os procedimentos definidos pela norma NBR 10833 (ABNT, 2012). As matérias primas utilizadas foram: Cimento Portland CP V – ARI, solo, fibra de coco babaçu e água. A etapa de preparação dos tijolos ecológicos com e sem fibra de coco babaçu para cada formulação estudada seguiu a nomenclatura descrita na Tabela 4.

Tabela 4 – Corpos de prova produzidos para 7 dias de cura

Tipo de formulação	Composição	Total de amostras
	% Fibra	
FS	0,0	10
F1	0,5	10
F2	1,0	10
F3	1,5	10
F4	2,0	10

Fonte: Autoria própria, (2018).

Para a dosagem dos componentes do tijolo ecológico, adicionou-se o cimento ao solo peneirado e realizou-se uma mistura manual até que se obteve uma coloração homogênea. Em seguida foi adicionada água por meio de um borrifador até conseguir a umidade ótima, ou seja, uma argamassa ainda desaglomerada (farofada) aprovada

no teste prático da queda da bola. Com essa “farofa” úmida, de coloração uniforme, espalhou-se a fibra de coco babaçu obtendo por fim a mistura que foi usada na confecção dos corpos de provas. Posteriormente, essa mistura foi colocada diretamente na prensa para a compactação da amostra.

A incorporação da fibra de coco babaçu na mistura de solo e cimento foi obtida com o auxílio de uma fôrma de plástico utilizada para o manuseio manual das matérias primas, conforme visto na Figura 17.

Figura 17 – Mistura de solo, cimento e fibra de coco babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

4.8. CONFECCÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram fabricados por meio de prensagem em função dos procedimentos exigidos na norma NBR 8492 (2012), sendo empregada uma máquina de prensa manual de fabricação da Verde Equipamentos, disponível no LABMAT/IFPI-Teresina, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Prensa manual para produção de tijolo ecológico



Fonte: Autoria própria (2018).

Para a moldagem dos corpos de prova, utilizou-se o solo arenoso seco que foi peneirado para separação dos grãos maiores e impurezas, numa peneira com abertura de 4,8 mm, utilizando o traço de 7/1, ou seja, sete partes de terra para uma parte de cimento. A padronização do traço deu-se por meio de baldes graduados para medição dos materiais, sendo que o volume utilizado para cada traço foi de 21 kg de solo para cada 3 kg de cimento. A mistura foi composta por percentuais, de solo, cimento Portland CP V, 15% de água e teores da fibra de coco babaçu em relação à massa total, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantificação da dosagem nos tijolos ecológicos

Traço solo-cimento	Massa total (kg)	Umidade (%)	Teor de fibras (%)					
7/1	24	15	0	0,5	1	1,5	2	

Fonte: Autoria própria (2018).

Inicialmente, os tijolos ecológicos foram produzidos com as respectivas frações de teores de fibra, nos quais estes se submeteram a ensaios de durabilidade para análise de resultados individuais de resistência a compressão simples e absorção de água durante um período de sete dias a fim de identificar qual a melhor composição da mistura. Uma vez encontrado o teor de fibra que contribuiu para o aumento da resistência do tijolo ecológico, foram estabelecidos procedimentos básicos de acordo com NBR 8491 (2012) para verificar as exigências estabelecidas na produção de uma alvenaria no setor da construção civil. Posteriormente, para o traço/composição selecionado foram fabricados mais 30 tijolos a serem ensaiados durante os períodos de 14, 21 e 28 dias de cura. Como indicativo de controle de qualidade dos tijolos ecológicos, foram preparados 80 corpos de prova sendo 56 destinados para o ensaio de resistência a compressão simples e 24 para determinar o índice de absorção de água.

Com a confecção dos tijolos ecológicos retirou-se da prensa com cuidado para não danificar, colocou-se sobre uma bancada de acordo com a Figura 19, e realizou-se a aferição das dimensões nominais com um paquímetro digital, sendo necessário observar a variação máxima permitida de 1 mm estabelecido pela norma NBR 10836 nos valores do comprimento, da altura e largura.

Figura 19 – Identificação dos tijolos após a prensagem



Fonte: Autoria própria (2018).

Logo após a prensagem, os tijolos retirados da prensa foram empilhados em local protegido do sol e do vento como mostra na Figura 20. Nesse local, os tijolos foram molhados periodicamente 3 vezes ao dia, durante sete dias a fim de que se obtenha um ganho na resistência dos corpos de prova por processo de cimentação. Esses tijolos umedecidos constante e frequentemente favoreceu a reação química entre o cimento e solo, a fim de garantir a cura necessária. Após essa fase, chamada de cura, os tijolos estarão prontos para o uso.

Figura 20 – Tijolos armazenados para cura



Fonte: Autoria própria (2018).

4.9. ENSAIO RELATIVO ÀS DIMENSÕES DOS TIJOLOS ECOLÓGICOS

Para a obtenção das dimensões finais dos tijolos foi utilizado um paquímetro digital que possui precisão necessária para se evitar disparidades nas medidas do comprimento, largura e altura.

A NBR 8491/2012 recomenda que os tijolos ecológicos possam ser fabricados observando-se os valores específicos catalogados na Tabela 6.

Tabela 6 – Tipos e dimensões nominais

Designação	Comprimento	Largura	Altura
Tipo A	200 ± 3 mm	100 ± 3 mm	50 ± 3 mm
Tipo B	240 ± 3 mm	120 ± 3 mm	70 ± 3 mm

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012).

Pelo fato de se tratar de um tijolo solo-cimento, a análise dimensional torna-se importante para evitar irregularidades na execução da alvenaria a fim de alcançar um bom encaixe entre eles.

Em consonância com a NBR 8492/2012 foram utilizados três tijolos no teste de análise dimensional para cada formulação, observando-se a tolerância máxima de fabricação de 3 mm para cada uma das três dimensões.

4.10. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS TIJOLOS

A determinação do índice de absorção de água dos corpos de prova foi realizada de acordo com os procedimentos da norma NBR 8492 (2012). Para a realização do teste de absorção de água foram confeccionados dez corpos de prova para cada tipo de proporção, sendo utilizados três após um período de cura de 7 dias. A referida norma define como valores ideais a serem encontrados neste ensaio: os limites máximos de 22% e de 20% para os valores individuais e médios de absorção de água, respectivamente.

Os corpos de prova foram levados a uma estufa com uma temperatura contínua de 110 °C até atingir massa constante e obtendo-se a massa seca de cada amostra, de acordo com a Figura 21.

Figura 21 – Pesagem do corpo de prova seco



Fonte: Autoria própria (2018).

Em seguida os tijolos foram imersos em um reservatório de água durante um período de 24 horas, posteriormente retirados e enxutos superficialmente para ser efetuada a pesagem em balança de digital Adventurer (Ohaus), com resolução de 0,01 g e capacidade de 4100 gramas, a fim de verificar a massa saturada. O procedimento está ilustrado na Figura 22 a seguir.

Figura 22 – Corpos de prova imersos em água



Fonte: Autoria própria (2018).

A obtenção do índice de absorção de água foi determinada pela diferença de percentual entre a massa saturada e a massa seca do tijolo ecológico, calculada em base seca. Os cálculos dos valores individuais de absorção de água foram

determinados pela equação abaixo, enquanto a absorção média de cada composição foi obtida a partir da média aritmética de 3 repetições.

$$A = \frac{(M2 - M1)}{(M1)} \cdot 100$$

A = Absorção de água (%);

M1 = Massa do tijolo seco em estufa (g);

M2 = Massa do tijolo saturado;

4.11. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A determinação da resistência a compressão simples dos tijolos ecológicos foi baseada na norma NBR 8492 (2010) e os resultados foram obtidos a partir do rompimento dos corpos de prova confeccionados com e sem fibra de coco babaçu. Foram necessárias sete amostras preparadas conforme a referida norma, sendo que o cálculo da tensão de ruptura à compressão foi determinado dividindo-se a carga máxima observada durante o ensaio, em Newton (N), pela área da seção transversal do corpo-de-prova, em milímetros quadrados (mm²), gerando um resultado em Megapascal (MPa). A resistência média de cada composição foi obtida a partir da média aritmética dos valores individuais adquiridos nos corpos de prova submetidos ao procedimento de compressão.

A princípio, para a concretização do teste de compressão axial foi selecionado o lote de sete tijolos com os melhores resultados de resistência para a idade de 7 dias de cura, estando dentro dos limites indicados pela norma 8492 (2012). Por meio dessa estratégia, avaliou-se o ganho de resistência dos corpos de prova com diferentes teores de fibra de coco babaçu a fim de determinar a composição a ser trabalhada nessa pesquisa referente utilização dos tijolos enquadrados nos padrões das Normas Brasileira ABNT NBR 8491 (2012).

A preparação das amostras para o ensaio iniciou-se com a separação dos mesmos, os tijolos foram cortados ao meio, com o auxílio de uma serra circular portátil, como demonstra a Figura 23.

Figura 23 – Serragem dos tijolos ao meio



Fonte: Autoria própria (2018).

Posteriormente foi feito o capeamento das faces inferior e superior, empregando-se uma fina camada de cimento Portland CP V – RS para a ligação das duas metades obtidas no corte ao serem superpostas e invertidas, com uma espessura de 2 mm e aguardado o endurecimento da argamassa com a finalidade de garantir o correto nivelamento dos corpos de prova, de acordo com a Figura 24.

Figura 24 – Capeamento das faces dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2018).

Em seguida, os tijolos foram colocados diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio de compressão, ficando centralizado no plano de trabalho e aplicou-se a carga de maneira uniforme, com o decorrer do tempo a carga foi sendo elevada até atingir a ruptura do corpo de prova. Conforme pode se observar na Figura 25, a prensa utilizada para o ensaio de compressão simples foi uma máquina hidráulica, da marca SHIMADZU, com capacidade máxima total de 1000 KN, disponibilizada no laboratório de Ensaio Mecânicos na Pós Graduação de

Engenharia dos Materiais do IFPI.

Figura 25 – Ensaio de resistência à compressão simples



Fonte: Autoria própria (2018).

4.12. ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO

Com o término da determinação dos parâmetros técnicos dos tijolos ecológicos, foi construído um ambiente de alvenaria com 25 tijolos sem adição da fibra e 25 tijolos com adição de 1,5% da fibra, seguindo o modelo de duas mini casas para simulação de câmaras de calor representado pela Figura 26.

Figura 26 – Mini casas para análise conforto térmico



Fonte: Autoria própria (2018).

Os dois modelos de casas foram construídos em um espaço amplo e aberto, livre de qualquer obstrução que interferir na incidência solar para o local de teste, a

fim de respeitar as mesmas condições de ensaio.

Os telhados das mini casas foram feitos por telhas de amianto e o posicionados com a mesma regularidade dimensional para evitar desvios nos resultados.

Para a simulação do conforto térmico nos dois recintos, aplicou-se a aferição das temperaturas internas nas quatro paredes representadas por P1, P2, P3 e P4, através de um aparelho digital portátil denominado termômetro laser sensor na escala -50 a 500°C, da fabricante Instrutherm, modelo TI550 com precisão de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, conforme mostra a Figura 27.

Figura 27 – Termômetro infravermelho



Fonte: Autoria própria (2018).

Os testes da variação de temperatura foram realizados em três períodos por dia, correspondentes aos horários das 08:00h, às 12:00 e às 18:00h, durante cinco dias consecutivos.

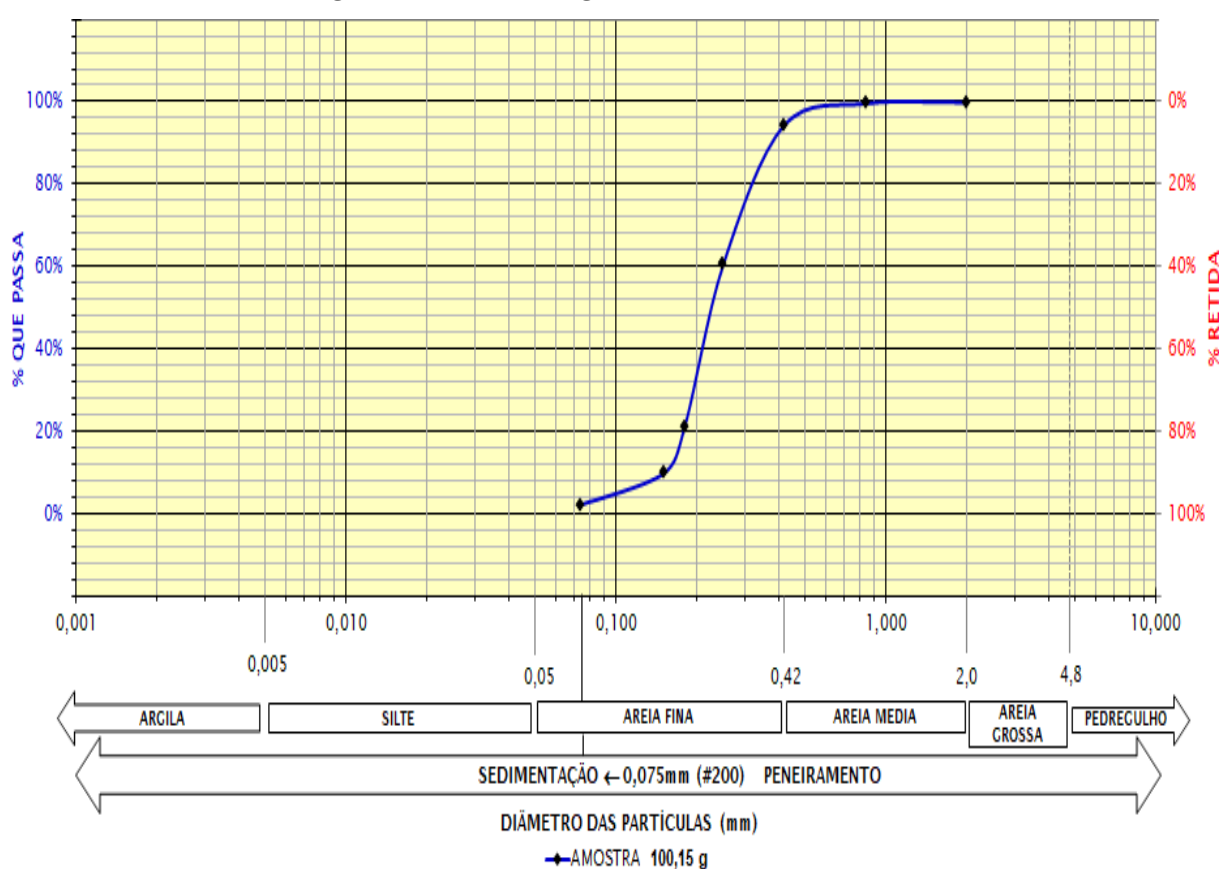
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se os resultados dos ensaios realizados na presente pesquisa:

5.1. DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA

A Figura 28 apresenta o resultado da granulometria do solo estudado:

Figura 28 – Curva granulométrica do solo



Fonte: Autoria própria (2018).

A NBR 8491:2012 que trata das normas referentes ao processo de fabricação de tijolos ecológicos especifica que o percentual de solo passante na peneira de nº 4 deve ser de 100% e na peneira de nº 200 entre 10% e 50%. De acordo com a Figura 13, nota-se que o material que passa na peneira nº 4 (4,8 mm) corresponde a 100% do solo. Portanto, essa caracterização qualifica esse solo para a produção do tijolo modular de solo-cimento, conforme critérios estabelecidos pela referida norma.

Por comparação da massa do resíduo proveniente após a decantação com o

peso da massa inicial, obteve-se a fração de 30,23% de material que passa na peneira com abertura de malha de 0,075 mm, portanto, dentro do limite entre 10% e 50% exigido pela norma citada. Para a obtenção do resultado da decantação, o resíduo final do solo foi secado em uma estufa e logo em seguida medido seu peso na balança eletrônica conforme a Figura 29.

Figura 29 – Massa do resíduo da amostra do solo após a decantação



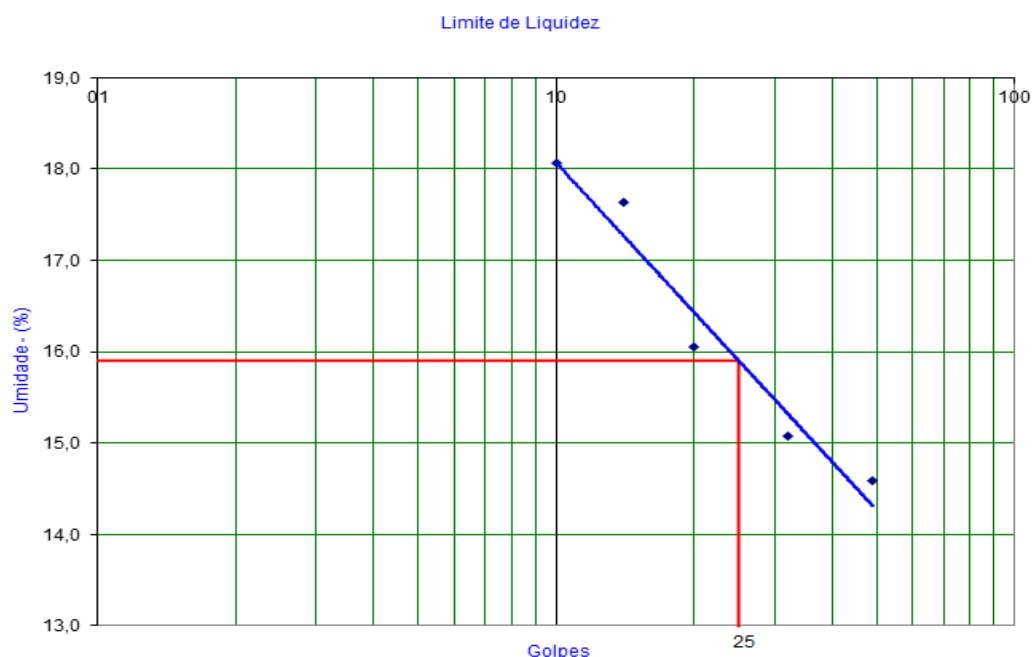
Fonte: Autoria própria (2018).

5.2. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE

A determinação da plasticidade do solo foi decorrente da metodologia aplicada segundo a norma NBR 7180:2016, sendo que o resultado do limite de plasticidade correspondeu a 6,8%. Isso demonstra que o solo apresenta boa plasticidade por possuir uma quantidade suficiente de finos (argila + silte) para garantir à mistura a capacidade de ser moldado no momento da fabricação do tijolo ecológico.

A determinação do limite de liquidez no ensaio realizado por meio do aparelho de Casagrande foi conseguida a partir da definição do ponto no gráfico de fluência representado por um par de valores, “teor de umidade x número de golpes”, indicado pelo gráfico da Figura 30.

Figura 30 – Gráfico do limite de liquidez



Fonte: Autoria própria (2018).

Para a moldagem de tijolos ecológicos, recomenda-se segundo a NBR 10833:2012 que o limite de liquidez seja menor ou igual a 45% e que o limite de plasticidade seja menor ou igual a 18%. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Cerâmica do IFPI, seguindo os parâmetros estabelecidos pelas normas NBR 6459:2016 e NBR 7180:2016.

A amostra do solo apresenta limite de liquidez de 15,9% e um limite de plasticidade de 6,8%, obtendo-se assim um índice de plasticidade de 9,1%, tornando-a apropriada para ser utilizada na confecção de tijolos ecológicos, conforme observado pela Tabela 7.

Tabela 7 – Determinação da umidade do solo

LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE						
Cápsula	N.º	1	2	3	4	5
Golpes	g	49,00	32,00	20,00	14,00	10,00
Peso Bruto Úmido	g	23,74	24,89	23,16	21,13	19,11
Peso Bruto Seco	g	22,02	23,00	21,34	19,64	17,63
Peso da Cápsula	g	10,23	10,46	10,00	11,19	9,44
Peso da Água	g	1,72	1,89	1,82	1,49	1,48
Peso do Solo Seco	g	11,79	12,54	11,34	8,45	8,19
Umidade	%	14,59	15,07	16,05	17,63	18,07

LL = 15,9%
LP = 6,8%
I.P = 9,1%

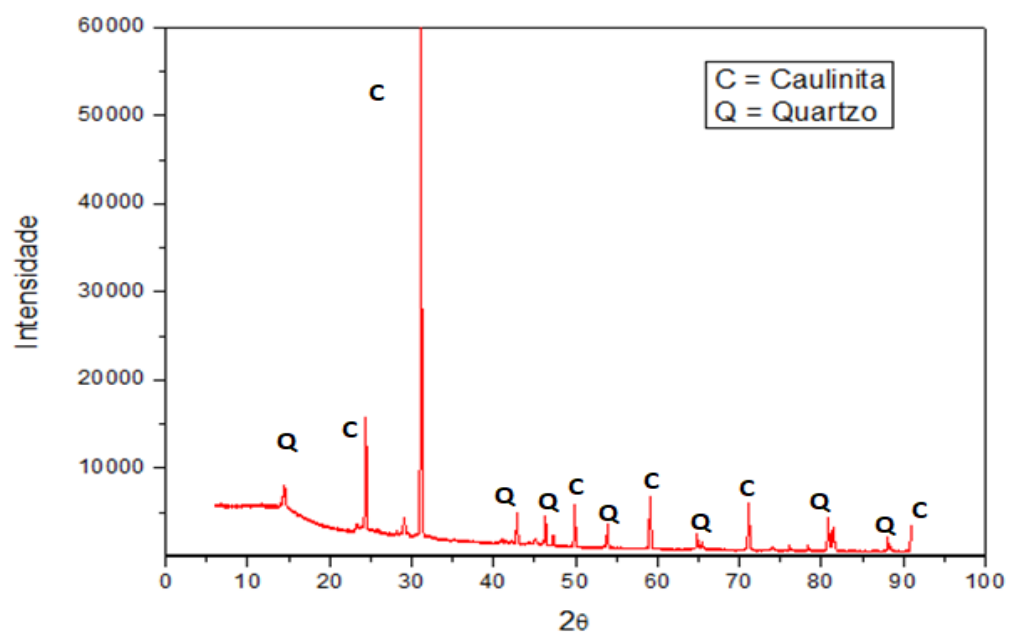
Fonte: Autoria própria (2018).

Com base nos resultados desses ensaios pode-se concluir que o solo em estudo é considerado o ideal para se trabalhar na fabricação de materiais construtivos, em razão de ter em sua composição uma fração de argila necessária para estabilizar com o cimento e quantidade de finos para permitir a moldagem inicial e facilitar a execução do bloco cerâmico, não sendo necessária correção com outro tipo de material.

5.3. ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A Figura 31 apresenta os resultados da análise mineralógica do solo estudado:

Figura 31 – Difração de raios-x do solo



Fonte: Autoria própria (2018).

Na figura acima é possível observar que na amostra do solo foram identificadas fases cristalinas tais como a presença de caulinita e do quartzo. A presença da caulinita por apresentar uma estrutura cristalina eletricamente neutra, torna-se fundamental para a interação do solo com o cimento e proporciona o desenvolvimento da plasticidade da argila.

O quartzo é responsável por manter a estabilidade dimensional da massa cerâmica. A estrutura cristalina do quartzo permite corrigir a plasticidade do solo em presença de água, aumenta a permeabilidade do bloco de alvenaria e controla a sua

retração.

5.4. ENSAIO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS- X

As Tabelas 8 e 9 apresentam, respectivamente, os resultados dos componentes químicos e da análise racional da amostra do solo estudado:

Tabela 8 – FRX da amostra do solo

Componentes Químicos (%)							
Matéria prima	Al₂O₃	SiO₂	Fe₂O₃	K₂O	TiO₂	CaO	Outros
Solo	27,5	70,8	0,65	0,13	0,77	0,13	0,02

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 9 – Análise racional do solo estudado

Fase cristalina	Teor (%)
Caulinita	60
Quartzo	40

Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com a análise mineralógica racional foi possível constatar a existência predominante de quartzo (SiO₂) ratificando o resultado granulométrico da amostra, que ressalta o aspecto arenoso do solo (GOMES et al., 2017).

Os óxidos predominantes do solo estudado são óxido de silício e alumínio correspondendo a 98,3% dos óxidos presentes. Estes óxidos estão associados ao argilomineral caulinita e o quartzo identificados na análise mineralógica por DRX, assim, o alto teor de silício na amostra é justificado, principalmente, pela presença do quartzo em torno de 40%, como mostrado no resultado da análise racional, corroborando com os resultados de granulometria e plasticidade que apresentou uma grande concentração de grãos maiores e baixo índice de plasticidade. Assim o teor de quartzo presente no solo é apropriado para aplicação na produção do tijolo ecológico.

A quantidade de sílica encontrada, no solo em estudo, também tem um papel fundamental na determinação das características de endurecimento (taxa de crescimento da resistência). As reações pozolânicas do solo resultante da hidratação são melhoradas devido à presença do silicato que tende a favorecer pega (perda da

consistência) do material com o cimento.

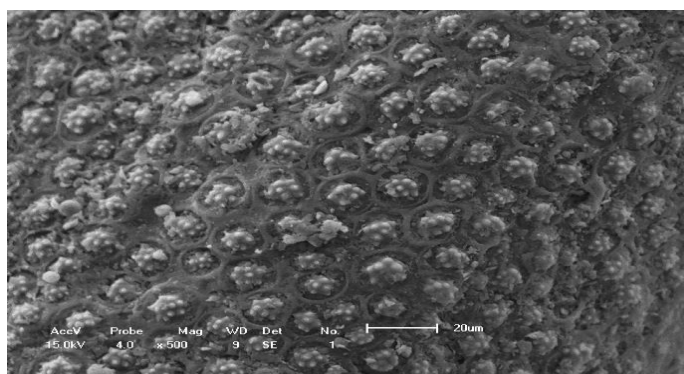
O baixo teor de cálcio presente na amostra do solo indica que a mesma não é de natureza carbonática ou apresenta um baixo teor deste componente (LOPES, 2015).

Os teores baixos de outros componentes tais como titânio, magnésio e fósforo, que estão presentes em todas as massas de argila não foram suficientes para indicar natureza de carbonatos e outras fases cristalinas.

5.5. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FIBRA DE COCO BABAÇU (MEV)

A Figura 32 mostra um aumento de 500x na microfotografia do epicarpo do coco babaçu, onde se observa a rugosidade natural da superfície da fibra formada por lignina, hemicelulose e pontos com depósitos de ceras de baixo peso molecular, exercendo grande influência na adesão de um compósito à base de matriz cimentícia (PATRÍCIO, 2010).

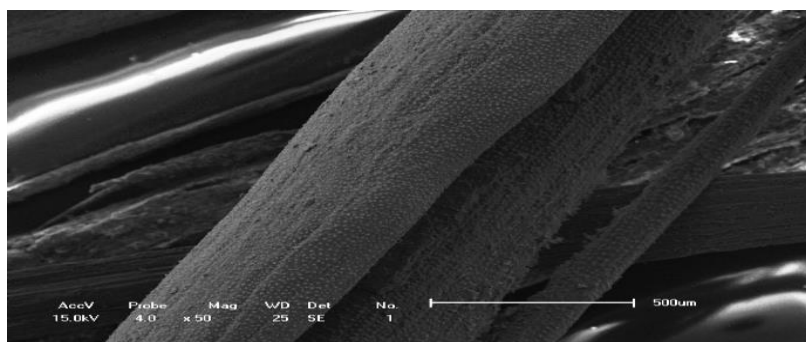
Figura 32 – Micrografia obtida por MEV da fibra de coco babaçu com aumento de 500x



Autor: Aatoria própria (2018).

A figura 33 mostra claramente a constituição de uma microfibras, representada por células longas e pontiagudas com certa homogeneidade estrutural. Nota-se também o aparecimento de fissuras que podem gerar defeitos na compatibilidade da ligação matriz-fibra, reduzindo assim a ductilidade do material. No entanto, deve-se ressaltar uma variação no comprimento das fibras resultante do processo de corte para processamento do coco babaçu.

Figura 33 – Micrografia obtida por MEV da fibra de coco babaçu com aumento de 50x



Autor: Autoria própria (2018).

5.6. ANÁLISE DIMENSIONAL DO TIJOLO ECOLÓGICO

Os resultados da análise dimensional para o lote de amostras fabricadas são descritos pela Tabela 10, demonstrando as médias aritméticas obtidas no comprimento, largura e altura dos tijolos ecológicos para a formulação FS, F1, F2, F3 e F4 conforme a etapa de preparação dos tijolos apresentados na tabela 4.

Tabela 10 – Dimensões médias dos tijolos ecológicos para as amostras ensaiadas

Formulação	C (mm)	DP ©	L	DP (L)	H	DP (H)
FS	249,60	0,20	125,44	0,07	66,52	0,51
F1	249,38	0,18	125,40	0,07	65,70	0,46
F2	249,71	0,43	125,64	0,42	67,55	0,43
F3	249,59	0,22	125,44	0,29	67,53	0,32
F4	249,58	0,18	125,47	0,45	67,53	0,42

Obs. ∴ C = comprimento; L = largura; H = altura; DP = desvio padrão.

As medições realizadas nos corpos de prova indicaram não conformidades em relação ao tipo A e tipo B de acordo com a NBR 8491/2012, pois as dimensões médias para o lote de tijolos produzidos foram 249,57 x 125,48 x 66,97 mm, mesmo assim se enquadram nas exigências desta norma, na qual estabelece que sua altura permaneça menor que a sua largura.

Os valores medidos nos tijolos moldados não atingiram variações acima de ± 1 mm em função da força de prensagem ser executada em uma matriz com

dimensões pré-definidas pelo fabricante da prensa manual, atendendo os limites estabelecidos pela norma NBR 8491.

A altura apresentou a única dimensão que sofreu variação significativa, no entanto, ainda dentro das condições padronizadas para a tolerância permitida. Isso ocorreu, em razão da altura do tijolo solo-cimento ser modificada por meio da regulação de sua compactação através do ajuste manual da própria máquina.

Para o alcance do controle dimensional, os valores apresentados foram obtidos através do valor médio das três determinações em pontos distintos de cada face do corpo de prova.

Pela análise dimensional foi verificado que as dimensões em cada aresta do tijolo ecológico não ultrapassaram o limite de $\pm 1\text{mm}$ estabelecido na norma NBR 8491 (2012), demonstrando-se satisfatória e garantindo uma boa execução do tijolo ecológico.

Deve-se ressaltar também que durante a análise dimensional dos tijolos ecológicos foram detectados problemas com a incorporação da fibra em teores a partir de 2%, devido à falta de adesão entre os materiais envolvidos resultando na má qualidade estrutural e criação de pontos de concentração de tensão, conforme mostrado na Figura 34. Visualmente notou-se a ocorrência de um “esfarelamento” superficial das faces dos corpos de prova, podendo causar a perda da resistência mecânica, assim tornando-se os tijolos ecológicos sensíveis às intempéries.

Figura 32 – Aspecto da superfície dos tijolos ecológicos reforçado com 2% de fibra de coco babaçu.

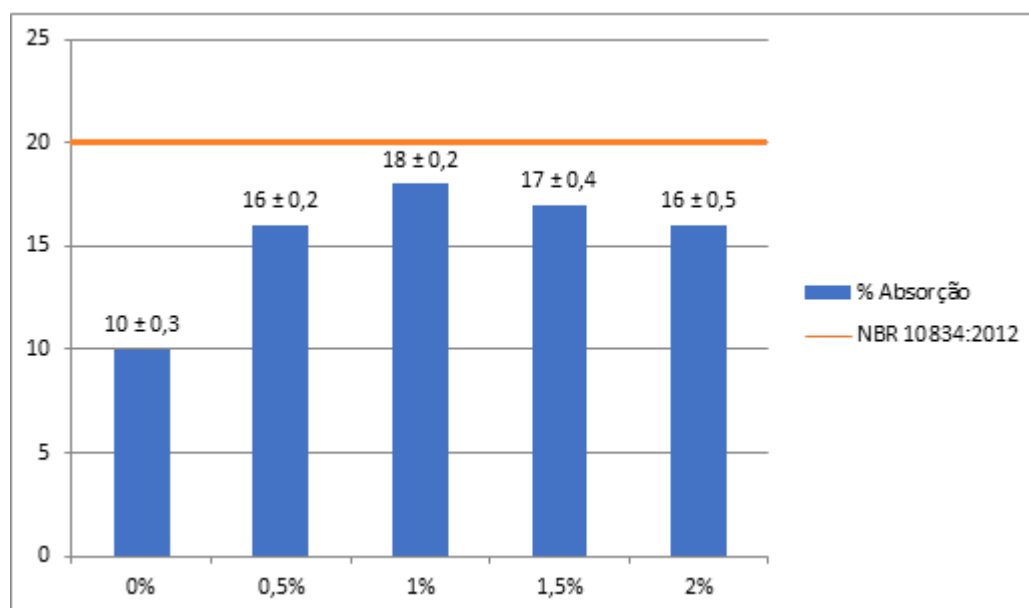


Fonte: Autoria própria (2018).

5.7. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os valores obtidos pelas composições do tijolo ecológico no ensaio de absorção de água estão descritos na Figura 35.

Figura 35 – Gráfico comparativo do ensaio de absorção para corpos de prova no período de cura de 7 dias.



Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com os resultados expressos na Figura 35, todas as formulações apresentaram valores médios de absorção de água que atendem a norma NBR 8491 (2012). Nota-se também que o tijolo ecológico com adição de fibra de coco babaçu absorve mais umidade do que o tijolo modular sem resíduo. Isso pode ser explicado pela porosidade inerente da fibra, influenciando na relação água/matriz do tijolo ecológico. Por outro lado, a elevada porosidade contribui para a redução no peso, para uma maior absorção acústica e para uma menor condutibilidade térmica dos componentes. (REGINA, 2005).

De acordo com os resultados expressos na Figura 35, verifica-se que ocorreu a variação nos valores dos índices de absorção de água. A justificativa para isto se deu em razão da taxa de compactação, que devido ao fato de ser utilizado uma prensa manual tornou-se difícil manter uma pressão constante e eficiente, influenciando diretamente na porosidade dos corpos de prova.

5.8. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os ensaios ocorreram após a preparação dos corpos de prova que receberam capeamento de 2 mm das duas faces opostas, mostrando uma grande tendência dos tijolos ecológicos produzidos a aumentar sua resistência à compressão simples devido à cura do cimento ocasionado pela hidratação na mistura, influenciando na coesão do material.

As Tabelas 11, 12, 13, 14, e 15 apresentam os valores obtidos nos ensaios, demonstrando o índice de resistência individual e média dos tijolos para cada formulação. Ainda segundo a norma NBR 8491 (2012), o valor médio da resistência à compressão não deve ser menor do que 2,0 MPa e nenhum resultado individual dos tijolos ensaiados apresente resistência menor do que 1,7 MPa.

Tabela 11 – Teste de resistência à compressão simples com tijolo sem adição de fibra de coco babaçu

Idade	Corpo de prova	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros da NBR 8491 (MPa)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	F1		0,7	0,87	≥1,7	≥2,0
	F2		0,8			
	F3		0,6			
	F4		1,0			
	F5		0,8			
	F6		1,2			
	F7		1,0			

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 12 – Teste de resistência à compressão simples com tijolo na formulação de 0,5% de fibra de coco babaçu

Idade	Corpo de prova	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros da NBR 8491 (MPa)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	F1		1,0			
	F2		1,2			
	F3		1,0			
	F4		0,89	1,09	≥1,7	≥2,0
	F5		0,85			
	F6		1,2			
	F7		1,5			

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 13 – Teste de resistência à compressão simples com tijolo com formulação de 1% de fibra de coco babaçu

Idade	Corpo de prova	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros da NBR 8491 (MPa)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	F1		1,4			
	F2		1,5			
	F3		1,2			
	F4		1,7	1,53	≥1,7	≥2,0
	F5		1,8			
	F6		1,6			
	F7		1,5			

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 14 – Teste de resistência à compressão simples com tijolo com formulação de 1,5% de fibra de coco babaçu

Idade	Corpo de prova	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros da NBR 8491 (MPa)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	F1		2,15			
	F2		2,3			
	F3		2,28			
	F4		2,47	2,28	≥1,7	≥2,0
	F5		2,23			
	F6		2,29			
	F7		2,26			

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 15 – Teste de resistência à compressão simples com tijolo com formulação de 2,0% de fibra de coco babaçu

Idade	Corpo de prova	Área (mm ²)	Resistência (MPa)		Parâmetros da NBR 8491 (MPa)	
			Individual	Média	Individual	Média
7 dias	F1		2,2			
	F2		1,8			
	F3		1,9			
	F4		2,0	2,03	≥1,7	≥2,0
	F5		2,2			
	F6		2,1			
	F7		2,2			

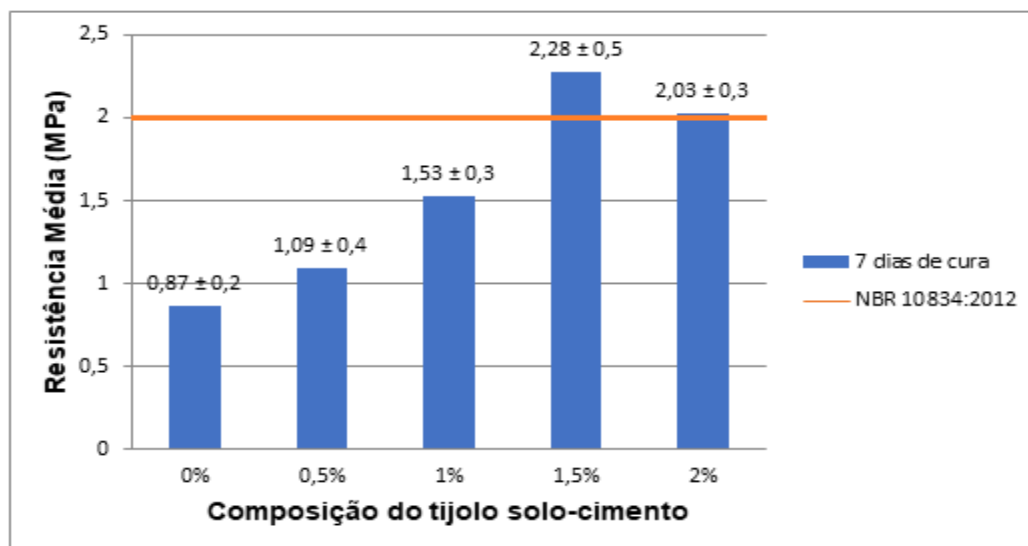
Fonte: Autoria própria (2018).

Diante dos resultados inerentes aos corpos de prova caracterizados pelos ensaios de compressão simples, observa-se que a formulação do tijolo solo-cimento incorporado com 1,5% da fibra de coco babaçu apresentou melhores resistências à carga de ruptura durante os 7 dias de cura, como pode ser notado na Figura 36.

A formulação com 1,5% de fibra de coco babaçu serviu de referência para

análise de dados em período de cura para 14, 21 e 28 dias.

Figura 36 – Gráfico comparativo das resistências obtidas no ensaio de compressão simples



Fonte: Autoria própria (2018).

Todas as amostras com formulações incorporadas de fibra obtiveram um melhor desempenho na resistência mecânica ao serem relacionados com tijolos do tipo FS. Isso se deve a presença da fibra de coco babaçu atuando como elemento de reforço na matriz de solo e cimento.

Conforme apresentado na Figura 36, foi verificado que aumentando o teor de fibra até o limite de 2,0% melhorou-se consideravelmente os níveis de resistência média comparados com os tijolos sem adição desse reforço. Fica evidente que a presença da fibra de coco babaçu é benéfica na composição dos tijolos solo e cimento, no sentido de serem utilizados como materiais de alvenaria não estrutural.

Com base na Figura 36, deve-se ressaltar que os tijolos com dosagem a partir de 1,5% de fibra conseguiram atingir valor ideal exigido pela norma NBR 10834 (2012).

Na Tabela 13 pode-se constatar que para as amostras com 1% de fibra, poucos resultados atingiram o valor mínimo de resistência à compressão individual ($\geq 1,7$ MPa) exigido pela citada norma. Esses valores podem ser justificados pela pressão de compactação na moldagem dos tijolos ecológicos, que por ser manual, não garantiu uma melhor massa específica da fibra na matriz de solo-cimento. Na Figura 36 pode-se perceber que os tijolos moldados com formulação de 2% da fibra de coco babaçu apresentaram uma diminuição na resistência mecânica em relação

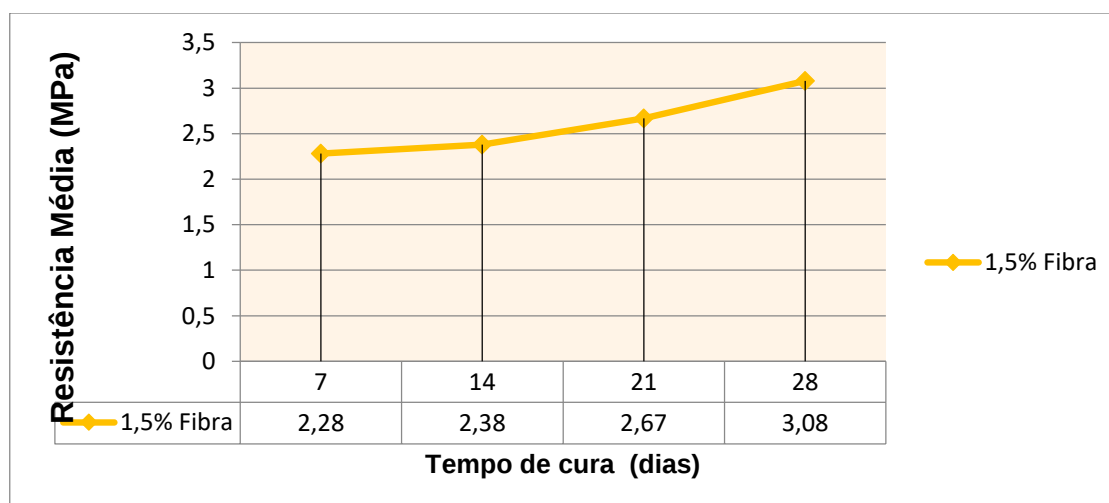
às amostras com teores de 1,5%, devido à ocorrência de falhas na aderência entre os componentes da mistura verificada pelo desprendimento da fibra no solo-cimento.

Os principais motivos que levaram a um decaimento na resistência mecânica para o lote das amostras podem ser justificados pela perda da qualidade estrutural dos tijolos devido à baixa densificação da mistura e do surgimento da rugosidade superficial com pequenas imperfeições que causam concentração de tensões durante a aplicação da carga de compressão executada no ensaio.

Pelos resultados analisados que estão expressos nas Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15, sugeriu-se que outros testes fossem realizados em períodos de cura para 14, 21 e 28 dias a fim de verificar o desempenho da resistência à compressão simples, tomando por base o tijolo solo-cimento com adição de 1,5% da fibra de coco babaçu. No entanto, é importante ressaltar que a partir de 7 dias de cura os tijolos ecológicos com formulações F3 já encontram-se prontos para serem fabricados e comercializados, pois atendem aos critérios da norma NBR 8491 (2012).

A Figura 37 mostra um comparativo entre os quatro períodos de cura, no sentido de averiguar a utilização comum desses tijolos que estão em conformidade com os parâmetros mínimos exigidos pela norma NBR 10834 (2012)

Figura 37 – Gráfico da resistência à compressão média dos corpos de prova com 1,5% da fibra de coco babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

Avaliando a resistência à compressão em relação ao tempo de cura, demonstrou-se a evolução dos resultados e confirmando que os corpos de provas possuem uma tendência a aumentar sua tensão de ruptura com tempo de cura dos

tijolos. Outro aspecto importante observado foi que para maiores tempo de cura consegue-se obter um melhor aproveitamento no processo de hidratação do cimento conferindo a estabilidade da resistência do tijolo.

No geral, os resultados foram satisfatórios, já que os ensaios efetuados demonstraram que a fibra de coco babaçu proporcionou melhorias significativas na resistência a compressão com variação linear, estando de acordo com o disposto pela norma NBR 8492 (2012) na qual estabelece que a média dos valores seja superior ou igual a 2,0 MPa.

Na Figura 37 pode ser visto que a resistência média aumentou em aproximadamente 35% em comparação dos tijolos moldados com dias 7 de cura para os mesmos com idade de 28 dias no referido ensaio, influenciando nas propriedades físico-mecânicas do produto final.

5.9. ANÁLISE PRELIMINAR DOS CORPOS DE PROVA

A aparência da superfície de fratura dos tijolos ecológicos sem fibra variou sensivelmente quando comparados com aqueles reforçados com fibra de coco babaçu.

A fissura observada na amostra sem fibra se propagou em linha reta e o rompimento ocorreu de forma abrupta que indica um comportamento típico para materiais frágeis, conforme visto pela Figura 38.

Figura 38 – Detalhe do aspecto da fratura do tijolo solo-cimento sem adição da fibra de coco babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

Os corpos de prova reforçados com fibra de coco babaçu foram submetidos a uma análise macroestrutural para verificar seu comportamento na superfície de fratura.

A Figura 39 apresenta o detalhe do tijolo ecológico após seu rompimento durante o ensaio de resistência à compressão simples.

Figura 39 – Detalhe do aspecto da fratura do tijolo solo-cimento com adição da fibra de coco babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

No tijolo ecológico incorporado com fibra, verificou-se a ocorrência de desvios na propagação das trincas, devido à presença desse aditivo na matriz cerâmica, resultando no aumento da carga necessária para separação total do corpo de prova.

5.10. ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO

As amostras selecionadas para a construção de um ambiente de alvenaria com adição da fibra e sem adição da fibra teve como objetivo principal a medição da capacidade de absorver o calor dentro de um recinto.

As Tabelas 16 e 17 apresentam, respectivamente, os dados referentes as temperaturas médias das paredes no ensaio de conforto térmico para dois modelos de mini casas construídas com tijolos ecológicos sem adição da fibra e com adição da fibra.

Tabela 16 – Temperaturas em °C para um ambiente de alvenaria construído com tijolo ecológico sem adição da fibra de coco babaçu

Tijolo de solo-cimento sem adição da fibra			
Dia	08:00	12:00	18:00
1	26,1	33,9	32,4
2	28,0	34,2	33,1
3	25,4	35,8	34,5
4	26,1	35,9	33,2
5	27,6	33,5	32,0

Fonte: Autoria própria (2018).

Tabela 17 – Temperaturas em °C para um ambiente de alvenaria construído com tijolo ecológico incorporado em 1,5% da fibra de coco babaçu

Tijolo de solo-cimento com adição da fibra			
Dia	08:00	12:00	18:00
1	25,2	31,8	31,0
2	26,1	32,4	31,6
3	24,8	32,1	31,1
4	25,3	32,0	31,3
5	26,6	32,1	31,2

Fonte: Autoria própria (2018).

Diante dos resultados expressos nas Tabelas 16 e 17, nota-se que durante os turnos de manhã, tarde e noite é possível obter temperaturas menores na simulação de uma mini casa construída de tijolos ecológicos incorporados com fibra do que um modelo feito apenas de tijolos de solo-cimento.

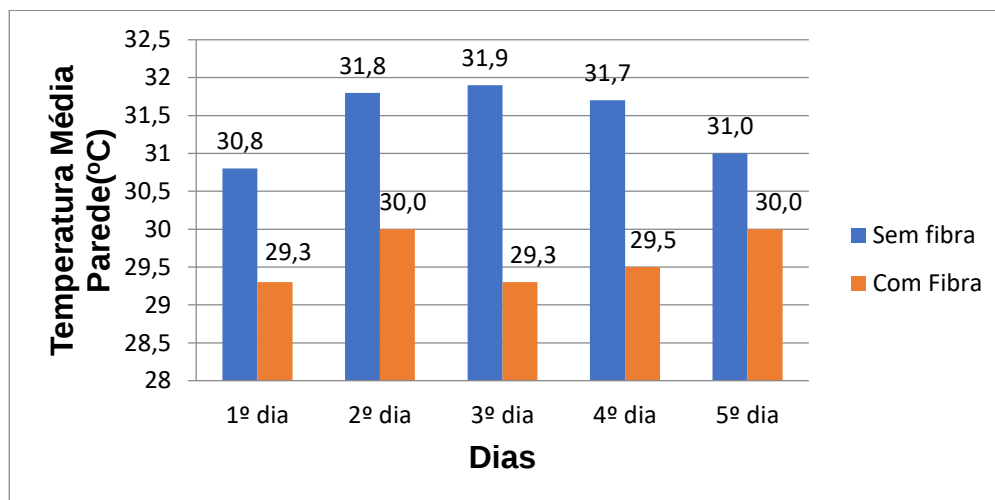
A Figura 40 mostra um gráfico com a respectiva temperatura média para as paredes da alvenaria construída sem e com adição da fibra de coco babaçu.

Com base nos resultados da Figura 40, a mini casa construída de tijolos ecológicos com adição de fibra de coco babaçu proporcionou menores valores médios na temperatura do que o modelo construído sem a fibra. Por conta disso, é pertinente afirmar que o modelo construído com fibra apresentou uma queda significativa na temperatura média das paredes, conseguindo atingir uma redução de até 2,6° C,

comprovando sua eficiência térmica na transferência de calor no recinto.

De uma maneira geral, adição da fibra no tijolo ecológico promoveu uma queda da temperatura no valor médio de $1,8^{\circ}\text{C}$ em relação ao recinto construído sem fibra durante o período de cinco dias.

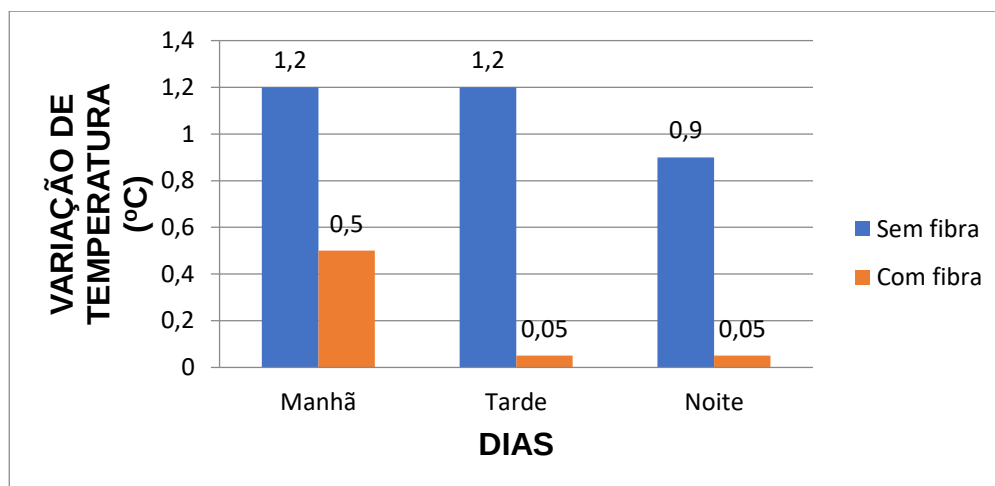
Figura 40 – Comparação da temperatura média por parede nos recintos construídos sem e com adição da fibra de coco babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

A Figura 41 apresenta um gráfico indicando a variação de temperatura por turno durante a análise do conforto térmico.

Figura 41 – Comparação da variação da temperatura média por turno nos recintos construídos sem e com adição da fibra de coco babaçu



Fonte: Autoria própria (2018).

Fica evidente na Figura 41 que a variação de temperatura no período da tarde para uma mini casa construída com tijolos ecológicos apresentou um índice de retenção de calor de 95,8% em relação ao modelo construído sem adição da fibra, garantindo um melhor isolamento térmico e temperaturas mais estáveis, principalmente, nos horários mais quentes. No que diz respeito à variação da temperatura no período da manhã e noite, conforme expresso pelo gráfico da Figura 41, o recinto construído com tijolos de fibra de coco babaçu apresentou índices de retenção de calor nos valores de 58,3 e 94,4%, respectivamente, em relação ao modelo construído sem adição fibra.

6 CONCLUSÃO

O solo empregado nessa pesquisa mostrou-se apropriado para a fabricação do tijolo ecológico.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a utilização da fibra de coco babaçu na composição dos tijolos ecológicos atendem aos requisitos de estabilidade dimensional descritos na NBR 8491/2012. Em termos de tolerância dimensional, os valores apresentados nos tijolos ecológicos corresponderam aos parâmetros estabelecidos nessa norma técnica. No entanto pode-se constatar que a mistura entre a fibra e solo utilizado neste trabalho resultou em produto de difícil moldagem, em função do aumento da adição de fibra a partir de 2,0% de seu teor.

O emprego de tijolos ecológicos exige certos cuidados, principalmente, quanto ao acompanhamento do período de cura no sentido de evitar o aparecimento de fissuras por efeito de retração causando desgaste superficial.

Os tijolos ecológicos de formulações F3 e F4 atenderam aos requisitos de resistência e absorção de água referente às normas disponíveis, demonstrando a viabilidade da fibra de coco babaçu como matéria-prima alternativa na produção desses materiais.

Durante a realização dos ensaios, verificou-se a influência do teor de umidade no desempenho do solo-cimento compactado, visto que a dosagem adequada de água na mistura garantiu uma melhoria significativa em termos de resistência mecânica, absorção e durabilidade.

A formulação com 1,5% da fibra do coco babaçu obteve um melhor desempenho de resistência mecânica comparada a formulação sem a fibra em um tempo de cura de 7 dias. Além disso, verificou-se que todas as suas amostras obtiveram valores superiores ao mínimo exigido pela norma NBR 8491/2012 ($\geq 2,0$ MPa), enquanto que nenhuma amostra da formulação sem a adição da fibra conseguiu atingir esse valor mínimo de referência.

Há de se destacar que os resultados obtidos com a adição de 1,5% da fibra de coco babaçu em tijolos de solo e cimento ocasionaram um aumento na resistência mecânica ao longo do tempo de cura, o que permitiu verificar desde os sete dias até períodos maiores (28 dias após a moldagem dos tijolos).

Com a análise do aspecto da superfície de fratura para os resultados dos ensaios de resistência à compressão nos tijolos ecológicos incorporados com fibra,

verificou-se a ocorrência de desvios na propagação das trincas, devido à presença desse aditivo na matriz cerâmica, resultando no aumento da carga necessária para separação total do corpo de prova. Com isso, pode-se inferir que os tijolos fabricados com adição da fibra de coco babaçu permitem resolver problemas típicos de patologias em alvenarias tradicionais tais como trincas e fissuras em paredes.

A verificação dos critérios de desempenho nos tijolos ecológicos, permitem afirmar que a fibra de coco babaçu tem potencial para ser utilizado em outros blocos cerâmicos, tendo em vista o alcance do desenvolvimento sustentável.

Os ensaios de resistência à compressão, absorção de água, análise dimensional, variação de temperatura apresentaram resultados convenientes para a comercialização do tijolo ecológico no setor da construção civil.

Apesar dessas vantagens, deve-se destacar também a falta de padrão de operação encontrada na realidade regional, ocasionado pela ausência de uma orientação científica e prática sobre a especificação, normalização e utilização dos tijolos ecológicos.

O coco babaçu mostrou potencialidade como matéria-prima para produção de tijolo ecológico.

A inclusão de reforço da fibra de coco babaçu na massa cerâmica (solo e cimento) contribuiu para um melhor isolamento térmico das paredes em função da afinidade das reações entre os constituintes envolvidos na mistura.

Por meio do teste de variação da temperatura dos tijolos ecológicos incorporados com 1,5% de teor da fibra, verificou-se uma melhoria significativa no conforto térmico em relação ao tijolo convencional devido a menor taxa de transferência de calor no ambiente interno da alvenaria proposta neste trabalho.

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Diante das condições em que esta pesquisa foi desenvolvida, há outros parâmetros que podem ainda ser analisados e estudados de maneira mais aprofundada para futuros trabalhos relacionada à fabricação de tijolos solo-cimento, pois permite diversas abordagens interessantes, como as sugeridas a seguir:

- avaliar a influência de diferentes tipos de solo para fabricação dos tijolos em relação à resistência à compressão e absorção de água;
- analisar a influência do comprimento da fibra de coco babaçu no desempenho

do tijolo ecológico para os requisitos da NBR 10834/2012;

- realizar um estudo da viabilidade econômica do uso de tijolo ecológico em comparação com alvenaria convencional;

- considerando variações ocorridas em alguns testes e medições, sugerem-se diferentes condições de cura e armazenamento;

- estudar o efeito de outros tipos de cimento na estabilização de solos com a fibra;

- testar outros equipamentos que adotem o uso de uma prensa hidráulica para favorecer a aderência da fibra na matriz de solo e cimento, visando aumentar a produtividade dos tijolos e a qualidade da mistura.

- realizar ensaios de resistência à compressão e absorção de água após o período de 28 dias de cura.

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostras de solo** – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Método de ensaio, NBR 6457, São Paulo, 1986. 9p.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de solo-cimento** sem função estrutural, NBR 10834, Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de solo-cimento** sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água, NBR 10836, Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de solo-cimento** sem função estrutural – Forma e Dimensões. Padronização, NBR 10835, Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual**, NBR 10832, Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento** com utilização e prensa hidráulica, NBR 10833, Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e Solos**: NBR 6502. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo-Cimento** – Dosagem para emprego como camada de pavimento, NBR 12253, Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo-Cimento** – Ensaio de Compactação, NBR 12023, Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo** – Determinação do limite de plasticidade. Método de ensaio, NBR 7180, São Paulo, 1984. 3p.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo** – Determinação do limite de liquidez. Método de ensaio, NBR 6459, São Paulo, 2016. 6p.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo maciço de solo-cimento**, NBR 8491, Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo maciço de solo-cimento** – Determinação da resistência à compressão e absorção d'água, NBR 8492, Rio de Janeiro, 1984.
- AIO, D. A.; SILVA, J. P. N. da; MACHADO, A. F.; SEGANTINI, A. A. da S. **Estudo da Influência do uso do cimento AIR nas propriedades do solo-cimento**

autodensável. – Ilha Solteira, UNESP/ Workshop: Concreto, Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias, 2004.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; LOPES, A. C.; MELLO, C. A.; GAMERO, C. A. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para agricultura familiar. **Acta Amazônica**, v. 37, n. 3, p. 337-346, 2007.

AGOPYAN, V. A. **A Experiência Brasileira com Fibras Vegetais**. São Paulo: Escola Politécnica, 1996.

BABCOALL Babaçu. **Projeto desenvolvido pela Incubadora de Empresas de Base Tecnológica em Agronegócios (INEAGRO), da Universidade Federal do Piauí (UFPI)**. Disponível em: <<http://babcoall.blogspot.com/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

BARBOSA, N. P. **Estabilização granulométrica de solos para confecção de tijolos prensados de terra crua**. In ENTAC, 8º, Salvador, 2000. v. 2p, 1043-1050 il.

CEBRACE – Centro Brasileiro de Construções e Equipamentos Escolares. **Solo cimento na construção de escolas – SC01**. 2ed. Rio de Janeiro, MEC/CEBRACE, 1981. 39p. il. (sistemas construtivos 2).

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO – CEPED (1999) Manual de construção com solo cimento. 4. ed. Camaçari. 114 p.

CARVALHO, M. A. **Avaliação da incorporação de resíduo de cinzas de babaçu de cana-de-açúcar em tijolo solo-cimento**. – UENF: Rio de Janeiro, 2014.

COUTTS, R. S. P. From forest to factory to fabrication. **In**: International Symposium on fibre reinforced cement and concrete. London: E&FN Spon, 1992.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento**. - São Paulo: UNESP, 2004, 92 p.

FRANÇA, F. C. Estabilização química de solos para fins rodoviários: Estudo de caso com o produto. **“Revista Brasileira de Indústria Grade 81”**. 104f. UFV: Minas Gerais, 2003.

GOMES, J. W. **Tijolos de solo-cimento** – solução para o problema habitacional de países em desenvolvimento. São Paulo: USP, 2006.

GOMES, R. M. et al. Caracterização da Matéria-Prima Utilizada da Fabricação de Tijolos Ecológicos no Município de Teresina-PI. **Anais...Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 61.Gramado – RS, 2017.

GREGORIO, L. T. D. **Manual de fabricação de tijolos de solo-cimento**. Cachoeira Paulista: RJ, 2012.

HENRIQUES, P. M. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. Escola Politécnica: Rio de Janeiro, 2009.

KAROLINA, S. J. M. **Estudo da incorporação de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo em formulações para tijolos de solo-cimento.** Sheyla Karolina Justino Marques. - Natal: O Autor, 2010.

LINS, A. H. P. Comportamento tensão-deformação-resistência dos solos compactados não saturados. **Anais...** Reunião anual de pavimentação, 21. Salvador, p. 160-175, set, 1994.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu:** características físico-mecânicas. 2002. 158 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (SP), 2002.

LOPES, Y. O. **Estudo da reutilização de resíduos de telha cerâmica (chamote) em formulações de massa para blocos cerâmicos.** 2015. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Instituto Federal de Educação, Teresina, PI.

MATTOSO, L. H. C.; PEREIRA, N.; SOUZA, M. L. de; AGNELLI, J. A. M. **Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos.** 1996.

MENDES, J. U. L. **Desenvolvimento de um compósito biodegradável para isolamento térmico.** 2002, 141p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio G. do Norte. Natal.

PCA – PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Soil-cement construction handbook.** Illinois, 1969. 42p.

PATRÍCIO, J. F. F. **Aproveitamento da fibra de epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz de epóxi:** estudo do efeito do tratamento da fibra. Natal: UFRN, 2010.

PINTO, T. P. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento.** São Paulo: ABCP, 1980. 22p.

PIRES, I. B. A. **A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares.** Salvador: UNIFACS, 2004.

PISANI, M. A. J. **Execução do tijolo de solo-cimento.** Relatório de pesquisa: Promoção do desenvolvimento sustentável do semiárido da Bahia. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.

RANGEL, J. H. Estudo termogravimétrico e das propriedades nutricionais do Mesocarpo de Babaçu [*Orbignya Speciosa*] em adição de pão. **Acta Tecnológica**, v. 6, n. 2, p. 12-17, 2012.

REGINA, S. S. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira.** Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

ROCHA, A. F. **Estudo experimental sobre misturas de solo-cimento para a região de Campos Novos dos Parecis, MT.** Dissertação de Mestrado. EESC USP, São Paulo, 1996.

RONG, M. Z.; ZHANG, M. Q.; LIU, Y.; YANG, G. C.; ZENG, H. M. The effect of fibre treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. **Composites science and technology**, v. 61, p. 1437-1447, 2001.

SILVA, M.S. **A terra crua como alternativa sustentável para habitação social.** Escola de Engenharia de São Carlos (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2001.

SILVA, A. J. **Extrativismo do coco babaçu (*Orbignyaphalerata*, Mart.) no município de Miguel Alves-PI: caminhos para o desenvolvimento local sustentável.** Dissertação de Mestrado, Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (MDMA) Universidade Federal do Piauí, 2006.

SILVA, P. F. F. **Análise quantitativa de fases em matérias-primas cerâmicas: desenvolvimento e validação de software com programação em *Matlab* adequada ao método de análise racional.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Instituto Federal do Piauí. Teresina, PI, 2015.

SOUSA, D. C. **Compósitos com matriz de amido do mesocarpo do coco babaçu reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu.** Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2016.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Ilha Solteira: UNESP, 2006.

SILVEIRA, A. **Estabilização de solos com cimento** – síntese de notas de aula. EESC – USP. Publicação 128, p.1-44, 1966.

TEIXEIRA, M. A. Babassu - A new approach for an ancient Brazilian biomass. **Biomass Bioenergy**, v. 32, p. 857 – 864, 2008.

VAN, G. E. C. **Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo-cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

YOCHIO, R. B. **Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea.** Volta Redonda: Rio de Janeiro, 2015.