

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS DO SERTÃO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ISABELLY MARÍLIA CRUZ SILVA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DA CASCA DE COCO EM TIJOLOS DE SOLO-  
CIMENTO**

Delmiro Gouveia - AL

2023

ISABELLY MARÍLIA CRUZ SILVA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DA CASCA DE COCO EM TIJOLOS DE SOLO-  
CIMENTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao programa de graduação da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção de grau acadêmico (Bacharelado) no curso de Engenharia Civil da UFAL – Campus do Sertão.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima.

Delmiro Gouveia - AL

2023

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus Sertão**  
**Sede Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

S586a Silva, Isabelly Marília Cruz

Análise da utilização de fibras da casca de coco em tijolos de solo-cimento / Isabelly Marília Cruz Silva. - 2023.  
89. : il.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima.  
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.  
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Construção civil. 2. Tijolo de solo-cimento. 3. Tijolo ecológico.  
4. Fibra de coco seco. 5. Resíduos sólidos. I. Lima, Alexandre Nascimento de. II. Título.

CDU: 624.157.8

## FOLHA DE APROVAÇÃO

ISABELLY MARÍLIA CRUZ SILVA

### ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DA CASCA DE COCO EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Monografia submetida à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 14 de abril de 2023.

*Alexandre Nascimento de Lima*

Msc., Alexandre Nascimento de Lima, UFAL (Orientador)

#### Banca examinadora:

*José Lima dos Santos Neto*

Eng. Civil José Lima dos Santos Neto (Examinador Externo)

*Wendell José Soares dos Santos*

Msc., Wendell José Soares dos Santos, UFAL (Examinador Interno)

A Deus, minha família e amigos que estiveram comigo durante toda a minha trajetória até aqui, tornando-a mais fácil. Em especial, ao meu pai, Cícero, avô, Artur, e avós, Maria de Lourdes e Maria Ursina, que cumpriram suas missões aqui na Terra e agora descansam ao lado do Senhor. Essa conquista é nossa!

## AGRADECIMENTOS

A Deus, meu maior agradecimento. Por todas as batalhas vencidas, pela força dada durante todos esses anos desafiadores, pelo sustento em todas as situações adversas e pela capacidade para chegar até aqui. A ele, toda honra e toda glória.

A minha família, que contribuiu para o meu crescimento pessoal e profissional. Em especial, a minha mãe, Marli Maria da Cruz Silva que me deu a vida, me instrui e me sustenta em todos os momentos. Minha melhor amiga, meu lar. Um exemplo de mulher forte, que possui o coração mais lindo que já conheci e que me incentiva a buscar o meu lugar no mundo. Ao meu irmão, Artur Vitor Cruz Silva, o homem com a melhor índole que conheço, aquele que me ajudou em momentos de angústia e não me permitiu desistir, me lembrando sempre da minha capacidade de conquistar meus sonhos. Ao meu pai, Cícero José da Silva (*in memoria*), o meu pilar mais forte, meu amor dessa e outras vidas, minha maior conexão vivida, aquele de quem herdei um coração sonhador. Sou grata por ter sido abençoada por viver por 16 anos o amor na sua forma mais real e pura. Ao meu avô, Artur Joaquim da Silva (*in memoria*), homem íntegro que me dedicou tanta confiança, assim como nunca me deixou faltar amor e carinho. A minhas avós, Maria de Lourdes Cruz (*in memoria*), a que sempre me entregava a Deus e me ensinou a confiar nEle, aquela que representa amor e doçura e para mim sempre foi um anjo enviado por Deus; e Maria Urcina da Conceição (*in memoria*), com quem eu compartilhava o amor pelo meu pai, aquela que me dedicou amor durante meu crescimento e que muitas vezes para mim foi abrigo. Aos meus tios, Givonaldo da Cruz Silva e José Aldemir da Silva, que me ajudaram na conclusão deste trabalho sem medir esforços. Eu sou nós, onde eu estiver, nós estaremos. Amo muito vocês.

Aos meus amigos de infância e adolescência, Carlos Vinicius, Iverson Ferreira, Amanda Gomes, Layla Souza, Arianny França, Sammya Menezes, Yandra Lorrane e Camila Teles, que por muitas vezes foram fonte da alegria necessária para vencer os obstáculos que me foram impostos durante a graduação. Um agradecimento especial a minha irmã do coração, Valéria Ribeiro, que sempre foi minha confidente e esteve presente em todas as etapas, me amparando com carinho e dando conselhos com sabedoria. Vocês moram no meu coração.

Aos meus companheiros de graduação, Micael Alves, Hildegard Júnior, Mateus Barros, Pedro Cruz, Josiclécio Araújo e Edton Santos, os quais me acompanharam e apoiaram nessa jornada desafiadora de descobertas, assim como sempre contribuía com paciência para o meu aprendizado em todos esses anos de graduação. Em especial, a Vitória Luiza, Rikelly Rafaella, Nathalie Oliveira, Cleyslâny Oliveira e Vivian Stefanny, que juntas formam o elo mais forte

que vivenciei na UFAL. Sou abençoada por ter vivido esses anos com vocês, compartilhando realizações e perrengues. Sou grata por todo o apoio e confiança, diante de tudo e durante a caminhada, a única certeza que eu tinha eram vocês.

Ao time Enactus UFAL Sertão, time incrível e acolhedor que me apresentou e fez com que eu me apaixonasse pelo assunto que hoje é o tema deste trabalho.

Ao meu companheiro de laboratório, Allyson Maciel, que me ajudou em diversas etapas para a conclusão deste trabalho e compartilhou comigo, sempre de forma engraçada e leve, todos os seus conhecimentos.

Por fim, mas não menos importante, ao meu orientador, Alexandre Nascimento de Lima, por toda confiança depositada, pela paciência constante, pela dedicação, pela positividade e pela forma leve e contagiante de enxergar as situações adversas. Muito obrigada!

“Para ser grande, sê inteiro: nada teu exagera ou exclui. Sê todo em cada coisa. Põe quanto és no mínimo que fazes. Assim em cada lago a lua toda brilha, porque alta vive.” (Fernando Pessoa, 1946).

## RESUMO

O crescente aumento populacional do mundo tem como consequência o aumento no volume da produção de resíduos sólidos, entre eles o resíduo de coco. O reaproveitamento de resíduos na Construção Civil se configura como uma opção viável e consciente para a diminuição da distribuição inadequada de materiais naturais no ecossistema. Como exemplo desse reaproveitamento, está a incorporação desses resíduos para a fabricação de tijolos ecológicos para uso em alvenaria sem função estrutural. O tijolo de solo-cimento ou tijolo ecológico é um produto endurecido resultante da mistura de água, solo e cimento em proporções distintas que garantam a sua eficiência. Este trabalho analisou o comportamento de tijolos de solo-cimento incorporados com fibra de coco seco destinados a atender as especificações da NBR 8491 (ABNT, 2012). Nesta perspectiva, foram confeccionados quatro traços com teores de fibra distintos, que foram de 0%, 2%, 5% e 7%. Os tijolos são do tipo vazados e têm dimensões de 240 x 120 x 70 mm. Os ensaios realizados nesta análise foram o ensaio de absorção de água, ensaio de resistência à compressão e análise dimensional, com tempo de cura de 7 dias. Outros ensaios com finalidade de caracterização do solo utilizado foram realizados, granulométrica, limites de consistência e determinação de impurezas orgânicas. Os ensaios de análise dimensional mostraram resultados satisfatórios para todos os lotes de tijolos, os ensaios de absorção de água mostraram que o lote de tijolos com teor de 7% de fibra ultrapassa o valor estabelecido em norma, os ensaios de resistência à compressão mostraram que nenhum lote de tijolos apresentou resultado satisfatório de acordo com o que é estabelecido em norma. Em trabalhos futuros, é importante que sejam realizados novos estudos com fibras mais curtas ou trituradas, assim como limitar o teor do resíduo até 4%, para resultados mais assertivos.

**Palavras-chave:** fibra de coco seco; tijolo de solo-cimento; tijolo ecológico; resíduos sólidos; absorção de água; resistência à compressão; análise dimensional.

## ABSTRACT

The growing population in the world has resulted in an increase in the volume of solid waste production, including coconut residue. The reuse of waste in Civil Construction is configured as a viable and conscious option for reducing the inadequate distribution of natural materials in the ecosystem. An example of reuse, is the incorporation of these residues for fabrication of ecological bricks for use in masonry without a structural function. The soil-cement brick or ecological brick is a hardened product resulting from the mixture of water, soil, and cement in different proportions that guarantee its efficiency. This work analyzed the behavior of soil-cement bricks incorporated with dry coconut fiber intended to match the specifications of NBR 8491 (ABNT, 2012). In this perspective, four traits with different fiber contents were made, which were 0%, 2%, 5% and 7%. The bricks are hollow and have dimensions of 240 x 120 x 70 mm. The tests carried out in this analysis were the water absorption test, compressive strength test, and dimensional analysis, with a cure time of 7 days. Other tests to characterize the soil used were done, granulometric, consistency limits, and determination of organic impurities. The dimensional analysis tests showed satisfactory results for all batches of bricks. The water absorption tests showed that the batch bricks with a 7% fiber content exceed the value established in the standard, and the compressive strength tests showed that none batch bricks presented a satisfactory result by what settled in the norm. In future work, it is important that new studies be realized with shorter or crushed fibers, as well as limiting the residue content to 4%, for more assertive results.

**Keywords:** dry coconut fiber; soil-cement brick; ecologic brick; solid waste; water absorption; compressive strength; dimensional analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Fruto do coqueiro e seus componentes .....	23
Figura 2	- Amostra de fibras de coco .....	31
Figura 3	- Mesocarpo fibroso .....	32
Figura 4	- Índice de plasticidade .....	37
Figura 5	- Modelos de tijolos de solo-cimento mais utilizados no Brasil .....	41
Figura 6	- Ilustração do corpo de prova preparado a partir de tijolo vazado com duas metades invertidas e superpostas .....	44
Figura 7	- Solo utilizado .....	45
Figura 8	- Fibra de coco utilizada .....	46
Figura 9	- Prensa manual utilizada .....	47
Figura 10	- a) Processo de peneiramento grosso .....	49
Figura 10	- b) Peneiras utilizadas no processo de peneiramento fino .....	49
Figura 11	- a) Homogeneização da amostra de solo .....	50
Figura 11	- b) Massa do solo cortada no aparelho de Casagrande .....	50
Figura 12	- a) Verificação da espessura do bastão .....	51
Figura 12	- b) Amostras do solo úmido em cápsulas de alumínio .....	51
Figura 13	- Solução obtidas para análise de impurezas orgânicas .....	52
Figura 14	- a) Fibras imersas em solução .....	53
Figura 14	- b) Fibras sendo lavadas .....	53
Figura 15	- a) Fibras indo para a estufa .....	53
Figura 15	- b) Fibras após a estufa .....	53
Figura 16	- Comprimento das fibras .....	54
Figura 17	- a) Fibra no microscópio antes do hidróxido de sódio .....	54
Figura 17	- b) Fibra no microscópio após contato com hidróxido de sódio .....	54
Figura 18	- Execução do teste sobre umidade ideal .....	55

Figura 19 - a) Confeção dos tijolos de solo-cimento com e sem fibra de coco .....	56
Figura 19 - b) Tijolos de solo-cimento com e sem fibra de coco .....	56
Figura 20 - Tijolo vazado de solo-cimento .....	58
Figura 21 - Tijolos capeados .....	58
Figura 22 - a) Corpo de prova nivelado .....	59
Figura 22 - b) Corpos de prova submersos em tanque de água .....	59
Figura 23 - Corpo de prova no ensaio de compressão .....	60
Figura 24 - Tijolos na estufa .....	60
Figura 25 - Tijolos submersos em tanque de água .....	61
Figura 26 - Obtenção de massa saturada do tijolo .....	62
Figura 27 - Nessler utilizados para análise de impurezas orgânicas .....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção regional de coco em 2020 (mil frutos) .....	27
Gráfico 2 – Produção estadual de coco em 2020 (mil frutos) .....	28
Gráfico 3 – Quantidade mensal de coco comercializada nas CEASAS do Nordeste nos anos de 2020 e 2021 (mil toneladas) .....	30
Gráfico 4 – Curva granulométrica do solo .....	66
Gráfico 5 – Limites de liquidez do solo .....	69
Gráfico 6 – Média de compressão dos tijolos de solo-cimento com e sem adição de fibra de coco .....	73
Gráfico 7 – Média de absorção dos tijolos de solo-cimento com e sem adição de fibra de coco .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características agronômicas dos coqueiros gigante, anão e híbrido .....	24
Tabela 2 – Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2018 e 2019 e projeção para 2020 e 2021 .....	26
Tabela 3 – Quantidade, valor e preço médio do coco e derivados comercializados por todos os estados nacionais nas CEASAS .....	29
Tabela 4 – Características químicas, físicas e mecânicas da fibra de coco .....	34
Tabela 5 – Faixa granulométrica dos solos .....	36
Tabela 6 – Composição granulométrica do solo sugeridas para confecção de tijolo solo-cimento .....	37
Tabela 7 – Especificação do solo para produção de tijolo de solo-cimento .....	38
Tabela 8 – Composição química do clínquer do cimento Portland .....	39
Tabela 9 – Tipos e composição do cimento Portland .....	40
Tabela 10 – Exigências mínimas de resistência à compressão e absorção de água .....	41
Tabela 11 – Composição dos tijolos solo-cimento-fibra .....	58
Tabela 12 – Tijolos de solo-cimento e dimensões nominais .....	60
Tabela 13 – Umidade hidrostática .....	67
Tabela 14 – Peneiramento grosso .....	67
Tabela 15 – Peneiramento fino .....	67
Tabela 16 – Comparação dos resultados de LL, LP e IP com a NBR 10833 (ABNT, 2012) .....	68
Tabela 17 – Limites de consistência .....	68
Tabela 18 – Ensaio de resistência à compressão simples nos tijolos sem adição de fibra ...	71
Tabela 19 – Ensaio de resistência à compressão nos tijolos com adição de fibra a 2% .....	71
Tabela 20 – Ensaio de resistência à compressão nos tijolos com adição de fibra a 5% .....	72
Tabela 21 – Ensaio de resistência à compressão nos tijolos com adição de fibra a 7% .....	72

Tabela 22 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP1, sem adição de fibra de coco .....	74
Tabela 23 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP2, com adição de 2% de fibra de coco .....	74
Tabela 24 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP3, com adição de 5% de fibra de coco .....	74
Tabela 25 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP4, com adição de 7% de fibra de coco .....	75
Tabela 26 – Análise dimensional dos tijolos padrão (CP1) sem adição de fibra de coco ...	76
Tabela 27 – Análise dimensional dos tijolos (CP2) com adição de 2% de fibra de coco ....	77
Tabela 28 – Análise dimensional dos tijolos (CP3) com adição de 5% de fibra de coco ....	77
Tabela 29 – Análise dimensional dos tijolos (CP4) com adição de 7% de fibra de coco ....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CEASAS	Centrais de Abastecimento
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
PIB	Produto Interno Bruto
RCC	Resíduos de Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
MMA	Ministério do Meio Ambiente
RIO21	Conferência das Nações Unidas de 1992
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FAOSTAT	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
IEP	Instituto de Educação Portal
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
IP	Índice de Plasticidade
CP	Corpo de Prova

## LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

° C Grau Celsius

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b> .....	20
<b>1.2</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	20
<b>1.3</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	20
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	22
<b>2.1</b>	<b>Meio ambiente</b> .....	22
<b>2.2</b>	<b>Coco verde</b> .....	22
<b>2.3</b>	<b>Produção de coco</b> .....	24
<b>2.4</b>	<b>Comercialização de coco no Brasil</b> .....	28
<b>2.5</b>	<b>Fibras de casca de coco</b> .....	30
2.5.1	Características naturais .....	32
2.5.2	Tratamento .....	33
2.5.3	Características físico-químicas e mecânicas .....	33
<b>2.6</b>	<b>Solo-cimento</b> .....	34
2.6.1	Solo .....	34
2.6.1.1	Estrutura .....	35
2.6.1.2	Características físicas .....	36
2.6.2	Modo de utilização .....	38
<b>2.7</b>	<b>Cimento Portland</b> .....	38
<b>2.8</b>	<b>Tijolos de solo-cimento</b> .....	40
2.8.1	Processo produtivo .....	42
2.8.2	Vantagens e desvantagens .....	42
2.8.3	Ensaios .....	45
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	45
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	45
3.1.1	Solo .....	45
3.1.2	Cimento .....	46
3.1.3	Fibra de coco .....	46
3.1.4	Água .....	46

3.1.5	Hidróxido de sódio .....	47
3.1.6	Prensa manual de tijolos .....	47
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	<b>47</b>
3.2.1	Características dos materiais .....	48
3.2.1.1	Caracterização do solo .....	48
3.2.1.1.1	Análise granulométrica .....	48
3.2.1.1.2	Limites de consistência .....	50
3.2.1.1.3	Teor de matéria orgânica .....	52
3.2.1.2	Caracterização das fibras .....	52
3.2.1.3	Moldagem dos tijolos de solo-cimento incorporados com e sem fibra de coco .....	55
3.2.1.4	Caracterização dos corpos de prova .....	57
3.2.1.4.1	Análise dimensional .....	57
3.2.1.4.2	Ensaio de resistência à compressão .....	58
3.2.1.4.3	Ensaio de absorção de água .....	60
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do solo</b> .....	<b>60</b>
4.1.1	Análise granulométrica .....	60
4.1.2	Limites de consistência .....	65
4.1.3	Teor de matéria orgânica .....	66
<b>4.2</b>	<b>Ensaio de resistência à compressão</b> .....	<b>67</b>
<b>4.3</b>	<b>Ensaio de absorção de água</b> .....	<b>70</b>
<b>4.4</b>	<b>Método de análise dimensional</b> .....	<b>73</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>76</b>
<b>5.1</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>77</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, a Construção Civil tem grande destaque no mercado no Brasil. De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2020), essa área é responsável por aproximadamente 6,2% do PIB brasileiro. Há previsão de crescimento e de novos investimentos nesse setor para os anos seguintes. Com esse crescimento as construtoras crescerão na mesma intensidade.

Em decorrência do aumento da visibilidade da Construção Civil, há o aumento no impacto ambiental negativo que esse ramo desempenha no meio ambiente. De modo geral, esse impacto é apresentado de forma direta no consumo de recursos naturais e na modificação da paisagem, em virtude da alta geração de Resíduos de Construção Civil (RCC) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Alguns estudos apontam que a cadeia produtiva da construção civil seja responsável por aproximadamente 50% do consumo dos recursos naturais, renováveis ou não. No Brasil, mais da metade dos resíduos sólidos gerados é advindo dessa área (GBC BRASIL, 2021).

Pensando no crescente impacto negativo gerado pelas construções, surgiu a ideia de construção sustentável. Esta, é uma forma de projetar que tem como principal objetivo preservar o meio ambiente, além de proteger recursos naturais durante e após a construção da obra, podendo ser aplicado em qualquer tipo de estrutura. Esse tipo de ideia inovadora tem como marca a utilização de materiais recicláveis e de menor impacto ambiental, baseando-se em 5 ideias fundamentais: projetos inteligentes; redução da poluição; eficiência energética; materiais ecológicos e aproveitamento de água (CITADIN, 2017).

Outra iniciativa posta em prática, para diminuir os impactos negativos, foi a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada em 02 de agosto de 2010 e instituída pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010). A PNRS é uma lei que dita a forma com que o país lida com os seus resíduos sólidos; esta ordena transparência dos setores públicos e privados em relação ao gerenciamento destes resíduos, incentiva o descarte de forma consciente e correta e aponta a reciclagem e reutilização como destinos finais viáveis, o que auxilia na redução de danos para o meio ambiente e para a saúde humana (UNALE, 2022).

O crescimento populacional tem se intensificado e, na mesma proporção, há a produção de um grande volume de resíduos sólidos, como o resíduo de coco verde. Para inibir essa exacerbada produção, vários estudos são realizados com a finalidade de buscar reaproveitamento para o coco verde descartado por cadeias produtivas e de consumo. Uma das alternativas para a solução desse problema é a que será apresentada nesse trabalho, a

incorporação desses resíduos em solo, cimento e água, para a fabricação de tijolos ecológicos destinados a execução de alvenaria sem função estrutural. A fabricação destes tijolos traz vantagens em relação a sustentabilidade, de forma econômica, ambiental e social.

### **1.1 Justificativa**

Neste seguimento, este trabalho pretende estudar o comportamento de tijolos ecológicos de solo-cimento produzidos com diferentes teores de fibra de coco verde, com objetivo de saber qual exerce um melhor desempenho, desde que atenda aos critérios da norma NBR 8491 (ABNT, 2012), de modo a empregá-los como uma alternativa sustentável para o mercado da Construção Civil, visto que atualmente há um intenso descarte de coco verde no meio ambiente e pouco se fala sobre seu reaproveitamento adequado.

### **1.2 Objetivo geral**

Verificar a viabilidade do uso de fibra da casca de coco verde tratada na fabricação de tijolos ecológicos por meio de ensaios no estado fresco e endurecido, adequado para um sistema de alvenaria sem função estrutural.

### **1.3 Objetivos específicos**

- Encontrar um solo adequado, de acordo com a normalização vigente, na região do Sertão Alagoano, para a fabricação de tijolos ecológicos;
- Analisar o comportamento das misturas com diferentes teores de fibra de coco verde tratada nos estados fresco e endurecido;
- Inferir o teor ótimo de fibras de coco tratada que leva ao melhor comportamento dos tijolos ecológicos.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho divide-se em capítulos, são eles: Introdução, Fundamentação Teórica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussões, Conclusões e Referências. Na Introdução é apresentado, de modo geral, o impacto negativo da Construção Civil no meio ambiente e a importância da questão ecológica. A Fundamentação Teórica aborda o meio

ambiente; o coco de forma geral, bem como sua produção, comercialização; fibras de coco, as características naturais, propriedades físico-químicas e mecânicas e tratamento; solo-cimento, solo, características, modo de utilização; cimento Portland, tijolos de solo-cimento, processo produtivo, vantagens e desvantagens; ensaios realizados. Em Materiais e Métodos são apresentados os materiais utilizados e metodologias para elaboração do estudo. Nos Resultados e Discussões são apresentados os resultados obtidos e é feita uma análise de acordo com os resultados. Nas Conclusões são apresentadas as apurações do estudo, através de uma análise dos resultados obtidos, assim como recomendações para trabalhos futuros. Por fim, as Referências listam as fontes que foram utilizadas para a realização do trabalho.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo apresenta a problemática do meio ambiente referente à construção civil, características do coco, como produção, comercialização, propriedades e tratamento das fibras e características do solo-cimento. Além disso, a caracterização dos testes realizados também está apresentada.

### **2.1 Meio ambiente**

Atualmente, é necessário pensar em formas de evolução que tenham como princípio a sustentabilidade. Em um cenário considerado ideal, as expectativas e necessidades sociais e econômicas das gerações futuras serão atendidas, assim como as necessidades da natureza, onde haverá desenvolvimento humano atrelado ao desenvolvimento sustentável.

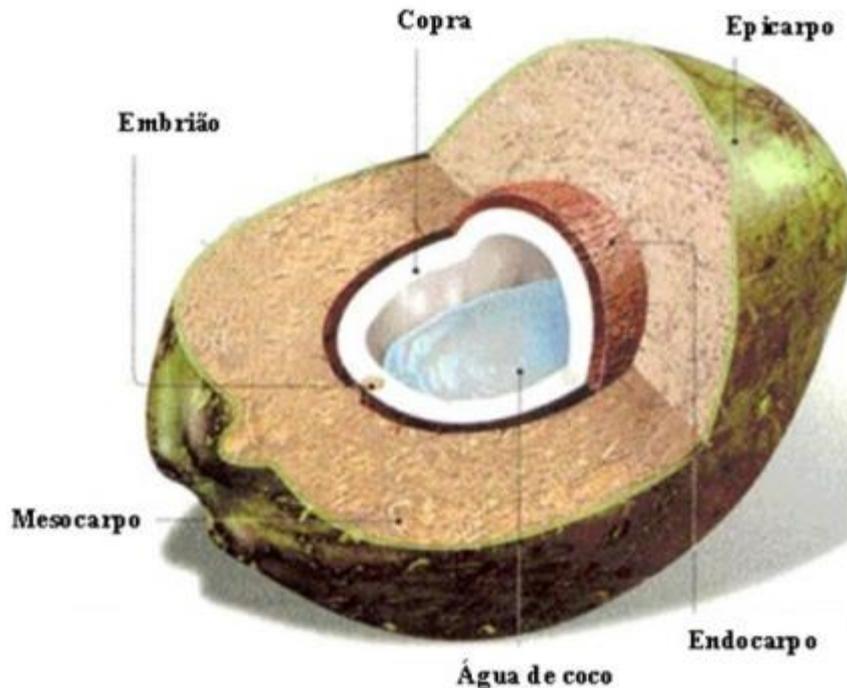
Visando alcançar o desenvolvimento sustentável, na Conferência das Nações Unidas de 1992 (RIO21), 127 países assinaram a agenda 21. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019), a Agenda 21 é um documento lançado em 14 de junho de 1992, no Rio de Janeiro, que apresenta um plano de ações que tem como grande objetivo o desenvolvimento sustentável. A Agenda 21 busca as causas dos principais problemas ecológicos e propõe um plano de metas participativo com curto, médio e longo prazo, com objetivo de solucionar o problema definitivamente.

Através das informações impostas nos dias atuais sobre meio ambiente e a necessidade de preservá-lo, as gerações atuais e as que estão surgindo tendem a se preocupar mais com o fator ecológico. A preocupação de salvar o mundo tem um grupo ativo, a chamada Geração Z (nascidos desde 1997). Ligado a isso e à notoriedade dos problemas ambientais, se faz necessário a criação de um projeto ou política pública que tenha como principal objetivo um desenvolvimento ambiental adequado para a Terra, onde os recursos naturais sejam administrados de forma mais consciente, principalmente no setor da construção civil de onde surgem grande parte das problemáticas ambientais. Tendo isso em mente, alguns resíduos descartados no meio ambiente como pó de pneu, garrafa pet, fibras vegetais, entre outros, estão sendo cada dia mais utilizados na construção civil.

## 2.2 Coco verde

O coco provém do coqueiro (*Cocos nucifera L.*), também conhecido como coco da baía, oriundo da família *Palmae* (palmeira). Ele se forma a partir de uma semente chamada drupa; sua composição é por sequência de camadas denominadas epicarpo (camada externa superficial pouco espessa e lisa, que forma a casca); mesocarpo (camada intermediária de característica fibrosa de onde é extraída a fibra); endocarpo (camada lenhosa e rígida) e a parte central, chamada de albúmen sólido (parte do fruto de maior valor no mercado junto com a água do coco). Normalmente, o fruto possui peso médio de 1,4 kg e a quantidade de água diminui com seu amadurecimento (BRAINER, 2018). A Figura 1 apresenta o coco e seus componentes.

Figura 1 – Fruto do coqueiro e seus componentes.



Fonte: Mattos *et al.*, 2021.

No Brasil, três variedades de coqueiros são exploradas desde 1553: coqueiro gigante, coqueiro anão e coqueiro híbrido. O coqueiro gigante (também conhecido como coqueiro de praia) é uma planta de grande porte, podendo atingir até 35 metros de altura e, normalmente, é utilizado para fornecimento de polpa (copra) para indústrias de produtos derivados do fruto (coco ralado e leite de coco). Este possui produção média de 70 frutos da planta por ano. O coqueiro anão, por sua vez, é uma planta de pequeno porte, atinge até 1 metro de altura. É utilizado, principalmente, para o consumo de água do coco natural ou envasada por

processos industriais e possui produtividade de 120 frutos da planta por ano. Já o coqueiro híbrido, também conhecido como anão-gigante, é uma planta de médio porte, atinge até 20 metros de altura e possui dupla finalidade, usado tanto para o consumo de água quanto para o fornecimento à indústria. A sua produtividade pode chegar a até 150 frutos da planta por ano (SEBRAE, 2016; IAP, 2017). A Tabela 1 apresenta as principais características agrônômicas dos coqueiros citados anteriormente.

Tabela 1 – Principais características agrônômicas dos coqueiros gigante, anão e híbrido.

Características	Variedade de coqueiros		
	Gigante	Anão	Híbrido
<b>Floração (ano)</b>	2 a 3	3 a 4	5 a 7
<b>Vida útil (ano)</b>	30 a 40	50 a 60	60 a 80
<b>Tamanho do fruto</b>	pequeno	médio	grande
<b>Crescimento</b>	lento	intermediário	rápido
<b>Porte (m)</b>	10	20	35
<b>Nº de plantas por hectare</b>	205	160	142
<b>Produção de frutos (frutos/planta/ano)</b>	150 a 200	130 a 150	60 a 80
<b>Peso do fruto (g)</b>	900	1200	1400
<b>Peso da noz (g)</b>	550	700	800
<b>Peso albúmem (g)</b>	250	400	350
<b>Teor médio de óleo (%)</b>	25,41	66,01	67,02
<b>Produção de água (ml)</b>	200 a 300	400 a 550	≥500
<b>Destino da produção</b>	<i>in natura</i> agroindústria	<i>in natura</i> agroindústria	<i>in natura</i> agroindústria

Fonte: Adaptado de Martins e Jesus Jr (2014).

### 2.3 Produção de coco

Uma das frutíferas mais distribuídas no globo terrestre é o coqueiro, pois sua presença é identificada em praticamente todos os continentes. Em consequência, em todo o mundo é possível observar seu grande cultivo e utilização (MARTINS; JESUS JR, 2011).

O coqueiro é originário das ilhas tropicais e subtropicais do Oceano Pacífico, onde sua principal referência de centro de origem e diversidade é o Sudeste Asiático. Ao longo do tempo, o seu cultivo passou a se estender na América Latina, Caribe e África Tropical (FOALE; HARRIES, 2009 apud MARTINS; JESUS JR, 2011).

Estima-se que, em 2011, cerca de 90% do coco que era produzido no mundo se devia a pequenos agricultores, com áreas de até 5 hectares. No Brasil, o cenário era de cerca de 70% da exploração do coqueiro com área de até 10 hectares (ARAGÃO *et al.*, 2009).

Com o tempo, a cultura de exploração do coqueiro foi se intensificando no Brasil. Dados mostram que em 1990, o país ocupava a 10<sup>a</sup> posição no ranking mundial, tendo como produção cerca de 477 mil toneladas de coco. Esse dado deu um salto no ano de 2014, onde o país passou a ocupar o 4<sup>o</sup> lugar como maior produtor mundial com produção de aproximadamente 2,8 milhões de toneladas, em uma área colhida de 257 mil hectares. Isso fez com que ocupasse um lugar de destaque no ranking de produtividade do mundo. Dentre os maiores produtores mundiais, o Brasil está na posição do que possui maior rendimento (13.144 kg/ha), graças a tecnologia que é apresentada na cultura de cultivo, como: condição e manejo dos coqueirais; sistemas intensivos de cultivo; variedades melhoradas do tipo anão e híbrido (MARTINS; JESUS JR, 2011).

Conforme dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2021), a área mundial colhida com coco é de 11,8 milhões de hectares, onde há produção de 62,9 milhões de toneladas. Três produtores ocupam 73% dessa área e participam com 74,1% da produção: Indonésia, Filipinas e Índia. Porém, o rendimento dos pomares desses países interfere no baixo rendimento mundial, onde não houve evolução ao longo da década de 2009 a 2019. Os dados da FAO (2021) apresentam que a área e a produção mundial de coco cresceram 0,3% e 0,2% em 2021, respectivamente, enquanto o rendimento caiu 0,1%. Isso comprova a estagnação da atividade em nível mundial. O motivo desse fenômeno pode ser apontado como a forma extrativista com a qual a cultura é explorada por pequenos produtores que têm limitações de recursos para investimentos tecnológicos. Em relação a pequenos produtores, a realidade não mudou de 2011 até os dias atuais, eles ainda são grande maioria. Outro motivo a apontar seria a destinação da cultura, pois a grande maioria dos produtores mundiais destinam o fruto dos coqueiros à produção de copra e óleo, o que faz com que estes sejam os principais produtos comercializados no mercado internacional (BRAINER, 2021).

No Brasil, a região mais produtora é o Nordeste, onde, durante a década de 2009 a 2019, houveram muitas mortes de coqueiros, causadas pelas adversidades climáticas. Em virtude disso, o país perdeu 97,1 mil hectares (aproximadamente 32,2% da sua área de cultivo total), ocupando assim a 7<sup>a</sup> maior área do mundo. No mesmo período, também houve uma perda de 629,1 mil toneladas (aproximadamente 21,3% do total), fazendo com que o país ocupasse o 5<sup>o</sup> lugar no ranking de maiores produtores do mundo. Em 2021, foi estimado que a atividade

fosse retomando gradualmente (BRAINER, 2021). A Tabela 2 apresenta a produção mundial de coco nos anos de 2018 e 2019 e a projeção dos anos de 2020 e 2021.

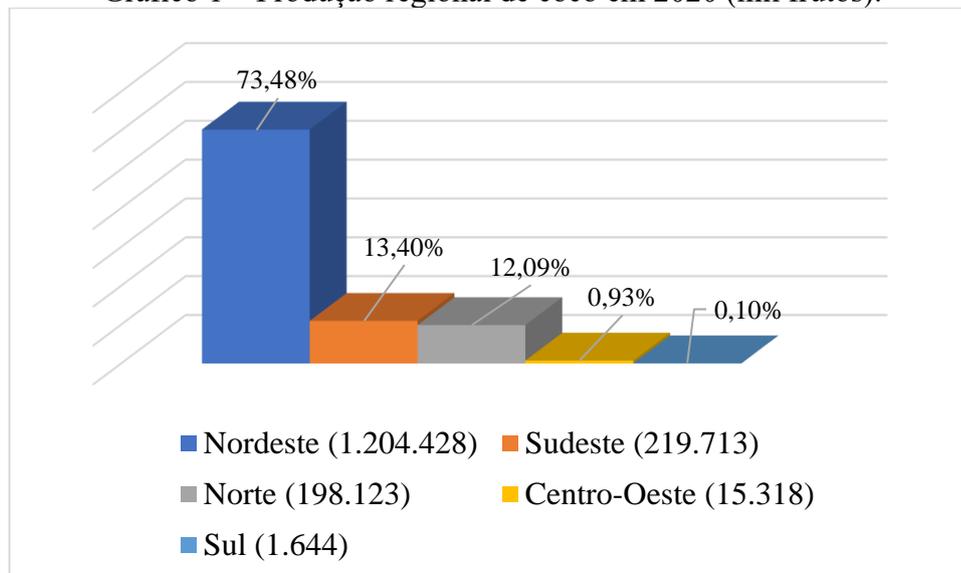
Tabela 2 – Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2018 e 2019 e projeção para 2020 e 2021.

Países	Área colhida (mil ha)				Produção (mil t)				Rendimento (kg/ha)			
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
Indonésia	2.800	2.800	2.812	2.778	17.100	17.129	16.882	16.812	6.107	6.117	6.003	6.052
Filipinas	3.628	3.652	3.595	3.610	14.726	14.765	14.420	14.357	4.059	4.043	4.011	3.977
Índia	2.097	2.151	2.100	2.102	16.413	14.682	12.963	13.314	7.827	6.826	6.173	6.333
Sri Lanka	455	503	463	463	2.098	2.469	2.276	2.242	4.609	4.904	4.913	4.843
Brasil	199	187	187	194	2.345	2.349	2.459	2.447	11.806	12.540	13.114	12.588
Vietnã	155	159	151	152	1.572	1.677	1.531	1.550	10.161	10.550	10.152	10.204
México	212	204	202	205	1.342	1.288	1.285	1.302	6.337	6.309	6.370	6.354
Papua Nova Guiné	192	189	198	196	1.186	1.193	1.188	1.188	6.167	6.317	6.004	6.071
Tailândia	121	124	150	141	858	806	847	835	7.078	6.481	5.659	5.914
Malásia	75	77	75	75	496	537	512	513	6.601	6.989	6.842	6.829
Demais	1.764	1.800	1.699	1.720	6.052	5.999	5.939	5.957	3.430	3.332	3.496	3.464
<b>Total mundial</b>	11.698	11.846	11.632	11.636	64.188	62.894	60.302	60.517	5.487	5.309	5.184	5.201

Fonte: adaptado de FAOSTAT, 2022.

Como já citado anteriormente, o Nordeste é a região do Brasil que mais produz, porém, é a que possui menor produtividade física (valor da produção em relação a área colhida) e que recebe menor valor nas vendas de coco. Segundo dados do IBGE (2021), atualmente, a área de cultivo do coqueiro é de 187,5 mil hectares com produção de 1,6 bilhão de frutos. No Nordeste está localizado 80,9% da área colhida e 73,5% da produção do país. Logo em seguida, como segunda maior área, temos o Norte, onde a variedade híbrida prevalece. A segunda região com maior produção é o Sudeste, devido ao maior rendimento (15.503 frutos/ha). Já a Centro-Oeste se destaca por ter rendimento elevado (11.930 frutos/ha) e também por ter a maior produtividade física (15.178 reais/ha). No Centro-Oeste e Sudeste, o coqueiro-anão é o tipo mais plantado, destinado a produção de água. O Gráfico 1 representa essa configuração.

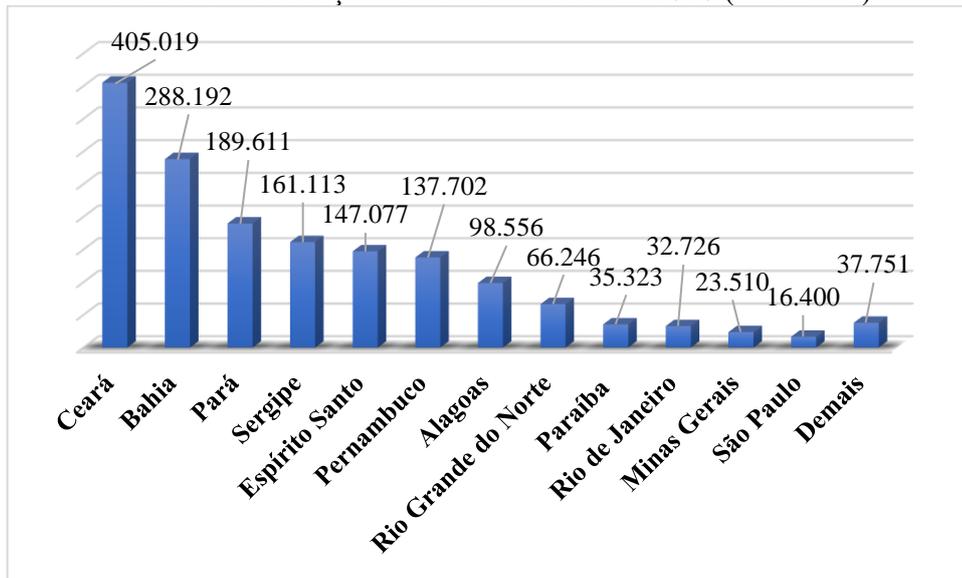
Gráfico 1 – Produção regional de coco em 2020 (mil frutos).



Fonte: Adaptado de IBGE, 2021.

Os únicos estados brasileiros que não cultivam o coqueiro são Amapá, Distrito Federal, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Sete estados do Nordeste estão entre os principais produtores, seguido de um do Norte e outro do Sudeste. No Nordeste, o Ceará passou a ser o maior produtor desde 2020, tendo 21,2% da área e 24,7% da produção nacional. Após o Ceará, a Bahia é o maior produtor nacional, com 19,3% da área colhida e 17,6% da produção (IBGE, 2021). O Gráfico 2 representa a produção de coco nos estados do Brasil no ano de 2020.

Gráfico 2 – Produção estadual de coco em 2020 (mil frutos).



Fonte: adaptado de IBGE, 2021.

## 2.4 Comercialização de coco no Brasil

Em harmonia com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), ao todo, nas Centrais de Abastecimento (CEASAS), foram comercializadas 218,3 mil toneladas de coco em 2020. Esse valor se mostrou 10% menor que em 2019. Afetadas pela pandemia, as vendas caíram em fevereiro, ficou baixo até maio, oscilando entre recuperação e quedas nos meses de agosto e novembro. O ano de 2021 iniciou com as vendas voltando ao normal. Entretanto, as vendas voltaram a cair, possivelmente por fatores pandêmicos e a queda na renda de grande parte da população. A Tabela 3 apresenta quantidade, valor e preço médio do coco e derivados comercializados por todos os estados nacionais nas CEASAS.

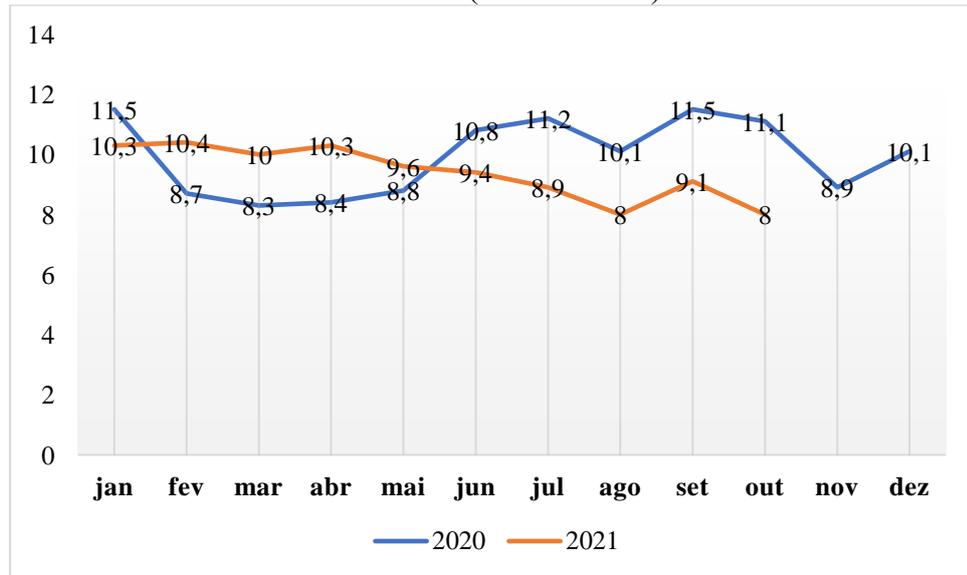
Tabela 3 – Quantidade, valor e preço médio do coco e derivados comercializados por todos os estados nacionais nas CEASAS.

Ano de comercialização	Coco			Água de coco			Coco ralado		
	Quantidade (Kg)	Valor (R\$)	Preço (R\$)	Quantidade (Kg)	Valor (R\$)	Preço (R\$)	Quantidade (Kg)	Valor (R\$)	Preço (R\$)
<b>COMERCIALIZAÇÃO NACIONAL</b>									
<b>2019</b>	245.132.613	321.813.011	1,89	21.914	116.559	5,32	36.949	324.812	8,39
<b>2020</b>	218.306.585	302.912.969	1,73	21.887	139.281	6,36	25.211	243.120	9,91
<b>2021</b>	183.327.995	243.590.389	1,6	33.004	205.285	6,22	31.664	294.193	9,15
<b>COMERCIALIZAÇÃO REGIONAL</b>									
<b>2019</b>	130.544.295	201.657.929	1,82	21.914	116.559	5,32	36.949	324.812	8,39
<b>2020</b>	119.513.556	204.531.132	1,99	21.887	139.281	6,36	25.011	241.120	9,88
<b>2021</b>	94.102.668	157.204.487	1,89	21.893	136.174	6,22	30.540	284.077	9,2

Fonte: adaptado de CONAB, 2021.

O Gráfico 3, por sua vez, apresenta a quantidade mensal de coco comercializada nas CEASAS do Nordeste, nos anos de 2020 e 2021.

Gráfico 3 – Quantidade mensal de coco comercializada nas CEASAS do Nordeste nos anos de 2020 e 2021 (mil toneladas).



Fonte: adaptado de CONAB, 2021.

Em relação a água de coco, no Brasil, em 2020, sua comercialização foi de 21,9 toneladas, quase igual ao ano anterior. Houve diferença no faturamento, que foi maior em virtude do aumento de 19,6% do preço, provavelmente devido ao aumento dos custos de produção com relação aos insumos importados. Em 2019 e 2020, a comercialização de água de coco no Brasil foi realizada em 100% no Nordeste. No ano de 2020, a comercialização nacional de coco ralado, que teve um valor de R\$ 243,12 mil, foi efetuada pelo estado de Pernambuco com 97,7%, Alagoas com 1,1% e Sergipe com 1,2%. Em comparação ao ano de 2019, a quantidade vendida caiu 31,8%, assim como o valor recebido pela venda, que teve uma queda de 25,2%, relacionado, talvez, ao fato de que os preços aumentaram 18,1%, devido à escassez da quantidade ofertada dos produtos nas Ceasas, relacionada ao isolamento social. Comparando janeiro a outubro de 2021 com o ano de 2020, as vendas desses produtos aumentaram em 50,8% e 25,6%, respectivamente, provavelmente devido ao aumento da quantidade ofertada, já que os preços caíram (BRAINER, 2021).

## 2.5 Fibras de casca de coco

Antigamente, a casca do coco, de onde são retiradas as fibras, era considerada lixo ou material residual. Com o passar do tempo e a evolução dos conhecimentos técnico-científicos, ela passou a ter muitas utilidades. As fibras de coco têm algumas características, dentre elas, a coloração uniforme, elasticidade, durabilidade e resistência à tração e umidade, disponibilizam muitas formas de utilização como matéria-prima natural para a indústria (NUNES, 2021). A Figura 2 apresenta as fibras retiradas da casca do coco.

Figura 2 – Amostra de fibras de coco.



Fonte: COHIBRA, 2013.

A casca de coco verde e de coco maduro, é formada por uma fração de fibras e outra denominada de pó. As fibras de coco são materiais lignocelulósicos, obtidos do mesocarpo de cocos e tem como características principais a sua dureza e durabilidade, graças ao alto teor de lignina, quando comparadas com outras fibras naturais (SILVA, 2006 apud CORRADINI *et. al*, 2009). A Figura 3 apresenta o mesocarpo, parte de onde é extraída a fibra.

Figura 3 – Mesocarpo fibroso.



Fonte: Duarte; Imai; Nii, 2009 apud Castilhos, 2011.

O material retirado da parte fibrosa do coco apresenta baixa taxa de degradação, levando mais de 8 anos para se decompor (CARRIJO *et al.*, 2002). Imaginando um cenário ecológico ideal, onde a redução desse resíduo seria o objetivo, sabe-se que a atividade produtiva seria afetada. Em virtude disso, formas de reaproveitamento passam a ser necessárias.

O coco possui três diferentes tipos de fibras, que são: branca longa; marrom longa e marrom curta. A branca longa é retirada da casca do coco verde com 8 a 10 meses de idade pelo processo natural de retificação. A marrom é extraída da casca do coco maduro com aproximadamente 12 meses de idade através de processos mecânicos, um terço do material fibroso é composto por fibras longas e dois terços por fibras curtas (CORREIA, 2012).

Dentre suas várias utilizações, o coco maduro pode ser usado como combustível para caldeiras ou na manufatura de cordoalhas, tapetes, estofados e capachos. Estudos de 2011 ainda sugerem a utilização do resíduo da casca verde na agricultura intensiva, com ênfase no cultivo de plantas ornamentais e hortaliças; na indústria de papel; na engenharia de alimentos para complementação alimentar humana e animal e na produção de enzimas; na indústria de construção civil e em matrizes poliméricas (NASCIMENTO, 2011).

Características como a alta umidade (80%) e as características próprias da fibra de coco imaturo reduzem o seu aproveitamento. Mesmo assim, sua utilização não é descartada e nem inviabilizada economicamente, mesmo que o material tenha a necessidade de passar por processos industriais (NASCIMENTO, 2011).

### 2.5.1 Características naturais

As características técnicas da fibra da casca de coco consideradas principais em relação a garantir vantagens para utilização industrial, são: Não possui odor, resistente a umidade, não é atacada por roedores, amplia a difusão, não apodrece, não produz fungos, possui condutibilidade térmica de 0.043 W/mK a 0.045 W/mK e comportamento ao fogo classe B2, ou seja, pouco combustível e muito baixa contribuição para o fogo (NASCIMENTO, 2011).

Em relação a composição, as fibras são compostas basicamente por celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose é considerada o principal constituinte estruturante, sendo um polissacarídeo linear de alto peso molecular formado principalmente por glicose, que é responsável pela estabilidade e resistência das fibras (PASSOS, 2005).

### 2.5.2 Tratamento

Convencionalmente, existem dois métodos possíveis para a extração da fibra de coco. No primeiro, a bucha é colocada em tanques d'água por seis meses, ou em tanques salgados ou lagoas por dez a doze meses para fermentação anaeróbia. Passado esse tempo, o coco é amaciado e descascado e as fibras são extraídas por batidas que podem ser feitas manualmente. Posteriormente, as fibras são lavadas, secas, limpas e passam por um processo de avaliação visual e por toque para que as fibras mais fortes sejam selecionadas (NASCIMENTO, 2011).

O segundo método é um processo mecânico onde é utilizado um desfibrador que processa a casca após cinco dias de processo de imersão em água. Nesse processo, a casca é talhada, amaciada e as fibras são abertas e extraídas. Esse método conta com o uso de cilindros para separar a fibra. Posteriormente, as fibras resultantes são lavadas, secas e avaliadas por meio do toque e inspeção visual (NASCIMENTO, 2011).

### 2.5.3 Características físico-químicas e mecânicas

Passos (2005) enfatiza que a fibra de coco detém grandes concentrações de tanino e lignina, mais do que as fibras vegetais comuns, isso faz com que o seu comportamento mecânico seja alterado e habilita a fibra a ser usada de muitas maneiras. A Tabela 4 apresenta as características químicas, físicas e mecânicas da fibra de coco.

Tabela 4 – Características químicas, físicas e mecânicas da fibra de coco.

<b>Composições química e física</b>	Celulose (%)	35,0 - 45,0
	Lignina (%)	45,0 - 46,0
	Comprimento (mm)	0,3 - 1,0
	Largura (%)	0,10 - 0,45
<b>Propriedades mecânicas</b>	Resistência a tração (MPa)	106,0 - 70,0
	Modelo de elasticidade (GPa)	3,0 - 6,0
	Alongamento de ruptura (%)	15,0 - 47,0

Fonte: Adaptado de Bhatia e Smith, 2008 *apud* Giraldelli *et. al*, 2020.

As fibras de coco ficam mais frágeis quando são sujeitas a situações alternadas de umedecimento e secagem. Temperaturas elevadas (cerca de 50 °C) tem um efeito de aceleração do enfraquecimento das fibras, em virtude da aceleração do processo químico que isso provoca. Mesmo assim, a inserção de fibras de coco em compósitos com matriz de argamassa de cimento para fins não estruturais é possível, pois seu enfraquecimento é pequeno ao longo do tempo (NASCIMENTO, 2011).

Alguns fatores podem influenciar as características físicas e mecânicas das fibras vegetais, no geral, como: clima, qualidade do solo onde são produzidas, época do ano em que são colhidas, até mesmo os processos de extração da fibra (NASCIMENTO, 2011).

Logo, há um potencial na utilização da fibra de coco como reforços em compósitos. Segundo Damasceno Filho (2018), as fibras podem perder resistência quando usadas de forma natural, após uma análise microscópica, isso se deve ao fato de que a fibra não apresenta cavas profundas, o que proporciona melhor aderência e também de esforços resistidos pela fibra. Uma solução, segundo Cunha (2012), seria imergir a fibra em solução de água com 4% de hidróxido de sódio, por aproximadamente 1 hora, com a finalidade de retirar as impurezas, ceras e gorduras, para melhorar a aderência da fibra que será inserida na matriz solo-cimento.

## 2.6 Solo-cimento

A grande sacada da utilização do solo-cimento para a produção de tijolos é que esse material tem como característica ser um material alternativo, de baixo custo e de fácil acesso, onde o mesmo pode ser obtido através da mistura de solo, cimento e água.

### 2.6.1 Solo

Segundo Santos *et al.* (2018), o solo pode ser definido como uma coleção de corpos naturais, constituídos por matérias sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que envolvem a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta Terra. No solo há matéria viva, que pode ser vegetado na natureza, onde normalmente ocorre e é modificado por interferências antrópicas.

Em harmonia com Neves *et al.* (2005), na Engenharia, o solo é todo material da crosta terrestre, advindo da decomposição de rochas, caracterizado por atributos que são, na maioria, minerais e/ou orgânicos, a depender de: composição química e mineralógica da rocha de origem, característica do relevo, clima e tempo de exposição as intempéries. Os solos são caracterizados de acordo com os fundamentos da Ciência dos Materiais, na área da Geologia, Mecânica dos Solos e Fundações e na Construção Civil. Essa classificação é dividida em: classificação genética (solo pedogenético, solo saprolítico, solo transportado); classificação granulométrica (arenoso, argiloso, siltoso); classificação pedológica (horizontes – superficial, subsolo e rocha mãe).

Para uso na construção, características como composição química/mineralógica e granulométrica, plasticidade e retração, são importantes para a escolha do solo. Assim como a umidade e o grau de compactação é para a execução. Suas características são foco de muitos estudos com a finalidade de definir qualitativa e quantitativamente as propriedades físicas, químicas e mineralógicas, assim como sua medição, predição e controle, tudo isso para compreender e harmonizar os mecanismos que governam a funcionalidade dos solos e sua ação na fabricação de produtos como tijolos de solo-cimento. É importante compreender a forma como o solo se comporta para que seja feito um uso e manejo adequados, tal qual para definir o melhor tipo de solo para a modalidade desejada (LIMA, 2020).

Para fabricação de materiais de solo-cimento, o solo é o material mais predominante. Qualquer tipo de solo pode ser utilizado para essa finalidade, com a condição de que não haja matéria orgânica predominante em sua composição. É importante ressaltar que o solo deve ser escolhido de forma que a quantidade de cimento a ser utilizada seja o mínimo possível, viabilizando o produto em relação ao custo final (ABCP, 2018).

### 2.6.1.1 Estrutura

O solo é composto por um sistema trifásico, onde há uma mistura de partículas sólidas (mineral e orgânica), ar e água. Na sua fase sólida, o solo apresenta em sua composição agregados minerais que podem conter ou não matéria orgânica. As características que devem ser observadas na fase sólida são: tamanho, peso específico, forma e composição química (ALMEIDA, 2005).

### 2.6.1.2 Características físicas

A composição granulométrica é uma das características físicas analisadas no solo. Em sua composição, o solo tem muitas faixas granulométricas, emprega-se essa composição para se referir as frações ou as partículas do solo por completo, o que inclui as mais finas – como argilas –, até as mais grossas – como pedregulho (LIMA, 2020). Essa granulometria influencia diretamente na qualidade do tijolo de solo-cimento. Na Tabela 5 é possível observar, de acordo com a ABNT NBR 6502 (1995), a fração das partículas e seus diâmetros.

Tabela 5 – Faixa granulométrica dos solos.

<b>Fração</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>
Pedregulho	60,00 - 2,00
Areia grossa	2,00 - 0,60
Areia média	0,60 - 0,20
Areia fina	0,20 - 0,06
Silte	0,06 - 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: adaptado de NBR 6502 (ABNT, 1995).

Em relação a utilização do solo para a fabricação de tijolos de solo-cimento referente à granulometria, a composição do solo deve ser silte e argila em 15%, areia fina 20%, areia grossa 30% e pedregulho 35%, esses percentuais são justificados pelo uso de pouca quantidade de cimento. (SILVA *et al.*, 2008 apud LIMA, 2020).

Em sua cartilha de produção de tijolos de solo-cimento, o IEP (2016) considera como sendo um solo ideal para fabricação de tijolos de solo-cimento, o solo que em sua composição tem 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila. A Sahara (2019), com intuito de diminuir a quantidade de cimento utilizado, recomenda a utilização de um solo com 70% de areia e 30% de argila. A Tabela 6 apresenta os valores, em porcentagem, da composição

granulométrica do solo ideal para a confecção de tijolos de solo-cimento, de acordo com os autores citados anteriormente (LIMA, 2020).

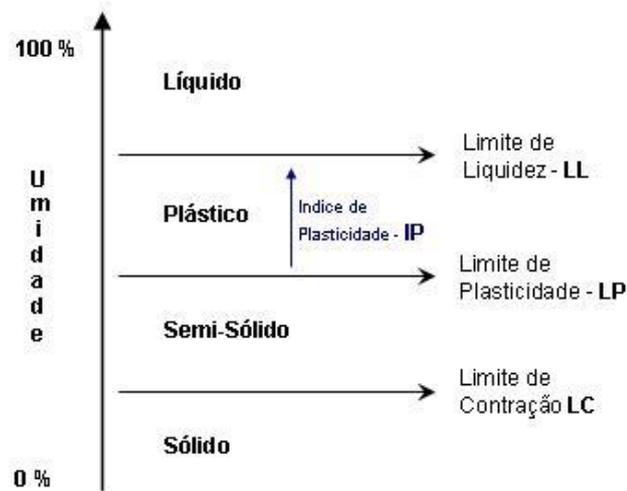
Tabela 6 – Composição granulométrica do solo sugeridas para confecção de tijolo solo-cimento.

<b>Autores, ano</b>	<b>Pedregulho (%)</b>	<b>Areia fina (%)</b>	<b>Areia grossa (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>
PCA, 1969	-	65 – 90		10 - 45	
Silva et al., 2008	35	20	30	15	
IEP, 2016	-	50		25	25
SAHARA, 2019	-	70		-	30

Fonte: Adaptado de Lima (2020).

Outra característica física determinante para a escolha de um solo ideal para fabricação de tijolos de solo-cimento é a plasticidade, ou seja, a aptidão que o solo tem para adquirir outras formas em condições de umidade. Para essa determinação, são utilizados os limites de consistência do solo, chamados limites de Atterberg, que são: limite de plasticidade (LP), que é o teor de umidade abaixo do qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido, ou seja, perde a capacidade de ser moldado e passa a ser quebradiço; limite de liquidez (LL), que é o teor de umidade que corresponde a transição de consistência fluida (teor de umidade acima de LL) e a consistência plástica (teor de umidade abaixo de LL e acima de LP) onde será gerado o índice de plasticidade (IP). O índice de plasticidade indica a maior ou menor plasticidade de um solo conforme sua umidade, o valor é obtido através da uma diferença numérica entre LL e LP (CAPUTO, 1988). Essa configuração está representada na Figura 4.

Figura 4 – Índice de plasticidade.



Fonte: adaptado de Caputo, 1988.

Visando a fabricação de tijolos de solo-cimento, o solo deve atender alguns valores em determinadas características em relação aos índices de plasticidade e limite de liquidez, de acordo com NBR 10833 (ABNT, 2012). A Tabela 7 apresenta esses valores.

Tabela 7 – Especificação do solo para produção de tijolo de solo-cimento.

<b>Variante</b>	<b>Valores (%)</b>
Passando na peneira de 4,8 mm	100
Passando na peneira de 0,075 mm	10 - 50
Limite de liquidez	$\leq 45$
Índice de plasticidade	$\leq 18$

Fonte: Adaptado de NBR 10833 (ABNT, 2012).

### 2.6.2 Modo de utilização

O solo-cimento pode ser utilizado em blocos ou tijolos, pavimento, parede maciça e ensacado. Os tijolos ou blocos de solo-cimento são confeccionados em prensas, onde precisam ser endurecidos para que fiquem resistentes. Além de serem resistentes, os tijolos ou blocos tem a vantagem de terem um bom aspecto. As paredes maciças são compactadas em camadas sucessivas, no sentido vertical, com a ajuda de formas ou guias e podem ser confeccionadas no próprio local da obra, assim como os pavimentos, que também utilizam formas, mas em uma única camada. Os pavimentos fazem parte de placas maciças apoiadas no chão. O solo-cimento ensacado, por sua vez, é o resultado da inserção do material em sacos, que funcionam como

fôrmas. Após serem fechados, esses sacos são colocados em posição de uso, posteriormente são compactados, um por um. A sua execução é semelhante a construção de muros de arrimo com matacões de pedra (NASCIMENTO, 2011).

## 2.7 Cimento Portland

O cimento Portland é um material caracterizado como fino, esse material possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes e passa por um processo de endurecimento quando é posto em contato com água. Foi criado por Joseph Aspdin, um inglês que o patenteou em 1824. O nome “Portland” foi dado por possuir cor e dureza semelhantes ao da pedra de Portland, que era muito utilizada em construções inglesas naquela época (ABCP, 2002).

Em sua composição, possui clínquer e adições que distinguem os vários tipos de cimento Portland existentes, atribuindo diferentes propriedades mecânicas e químicas a cada um. As adições também podem ou não ser utilizadas em virtude de suas distribuições geográficas (NASCIMENTO, 2011). A Tabela 8 apresenta a composição química do clínquer do cimento Portland.

Tabela 8 – Composição química do clínquer do cimento Portland.

Combinação	Composição	Proporção	Atuação
Silicato tricálcio	C <sub>3</sub> S	42 a 60%	- Responsável pela resistência da pasta de cimento hidratada, tem efeito principalmente no arranjo atômico, forma dos cristais obtidos e nas propriedades hidráulicas dos silicatos.
Silicato dicálcio	C <sub>2</sub> S	14 a 35%	
Aluminato tricálcio	C <sub>3</sub> A	6 a 13%	- Contribui pouco para a resistência com exceção das primeiras idades. - Em um ataque de sulfatos, pode haver a formação de sulfoaluminato de cálcio (etringita), podendo ocasionar a desagregação de concreto, uma das principais aplicações do cimento Portland. - Pode facilitar a combinação do óxido de cálcio com a sílica.
Ferroaluminatotetracálcio	C <sub>4</sub> AF	5 a 10%	- Pode reagir com a gipsita e formar sulfoferrito de cálcio, e sua presença pode acelerar a hidratação dos silicatos.

Fonte: Adaptado de Victor (2020).

No Brasil, atualmente são produzidos muitos tipos de cimento Portland, eles se diferenciam pela composição química e quando entram em contato com água apresentam propriedades diferentes. A Tabela 9 apresenta a composição dos tipos de cimento Portland e a norma brasileira que rege sua produção.

Tabela 9 – Tipos e composição do cimento Portland.

<b>Composição (% em massa)</b>						
<b>Tipo de cimento Portland</b>	<b>Sigla</b>	<b>Clínquer + gesso</b>	<b>Escória granulada de alto-forno</b>	<b>Material pozolânico</b>	<b>Material carbonático</b>	<b>Norma Brasileira</b>
Comum	CP I	100	-	-	-	NBR 16697
	CP I-S	95-99	1-5	1-5	1-5	
Composto	CP II-E	56-94	6-34	-	0-10	
	CP II-Z	76-94	-	6-14	0-10	
	CP II-F	90-94	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	25-65	35-70	-	0-5	
Pozolânico	CP IV	45-85	-	15-50	0-5	
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	95-100	-	-	0-5	

Fonte: adaptado de ABCP, 2002.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), os tipos de cimento mais utilizados nas obras são: cimento Portland comum, cimento Portland composto, cimento Portland de alto-forno e cimento Portland pozolânico.

## 2.8 Tijolos de solo-cimento

De acordo com a ABCP (2018), tijolo solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico, é um material obtido através de uma mistura homogênea, resultado da compactação, cura do solo, cimento e água em quantidades adequadas, onde é possível adicionar outro elemento na mistura, o resíduo. Dependendo da quantidade de cada componente adicionado, o material resultado desse processo pode ter boa resistência a compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retratação volumétrica e boa durabilidade.

Sendo solo o principal componente na composição de tijolos de solo-cimento, é recomendado a utilização de um tipo que faça o uso da menor quantidade de cimento possível, sabe-se que solos mais finos utilizam um maior teor de cimento.

Os tijolos de solo-cimento devem atender a especificações estabelecidas pela NBR 8491 (ABNT, 2012), que apresenta os requisitos para o recebimento de tijolos de solo-cimento com finalidade de execução de alvenaria sem função estrutural, com o tempo mínimo de 14 dias de idade. De acordo com a norma, para a utilização em construções habitacionais, é necessário que o material apresente as especificações apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Exigências mínimas de resistência à compressão e absorção de água.

<b>Valores-limite (7 dias)</b>	<b>Média</b>	<b>Individual</b>
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$\geq 1,7$
Absorção de água (%)	$\leq 20$	$\leq 22$

Fonte: adaptado de ABNT NBR 8491, 2012.

A norma indica 7 dias como idade mínima para a realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água, e 14 dias como idade mínima para a utilização do tijolo de solo-cimento para execução de alvenaria. Já na análise dimensional, é necessário que o material atenda as tolerâncias permitidas nas dimensões nominais dos tijolos de  $\pm 1,00$  mm para comprimento, largura e altura.

Há uma variedade de tijolos de solo-cimento produzidos no Brasil. A escolha é feita a depender da necessidade do projeto. Os modelos mais utilizados são: tijolo maciço comum, tijolo maciço com encaixe,  $\frac{1}{2}$  tijolo com encaixe, tijolo com dois furos (vazado),  $\frac{1}{2}$  tijolo com furo e encaixe, canaletas. A Figura 5 apresenta esses modelos, considerados mais comuns no Brasil.

Figura 5 – Modelos de tijolos de solo-cimento mais utilizados no Brasil.

TIPO	DIMENSÕES	USO	EXEMPLO
Tijolo maciço comum	(5 x 10 x 20) cm	alvenaria semelhante ao tijolo convencional	
Tijolo maciço com encaixe	(5 x 10 x 21) cm	Assentamento com baixo consumo de argamassa	
½ tijolo com encaixe	(5 x 10 x 10,5) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Tijolo com dois furos (vazado)	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Assentamento a seco, com cola rança ou argamassa plástica.	
½ tijolo com furo e encaixe	(5 x 10 x 10) cm (7 x 12,5 x 12,5) cm (7,5 x 15 x 15) cm	Elemento para conectar as juntas e amarrações sem necessidade de quebras.	
Caneletas	(5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Empregado em execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagem de tubulações horizontais	

Fonte: Lima, 2020.

### 2.8.1 Processo produtivo

De acordo com a ABCP (2000), o processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento deve seguir as seguintes etapas:

- Preparação do solo: destorroar o solo e peneira-lo na peneira ABNT 4,8 mm;
- Preparação da mistura: realizar a mistura do solo e cimento, a fim de obter uma mistura homogênea. Posteriormente, adicionar água e realizar novamente a mistura até que os materiais em conjunto apresentem coloração e umidade uniforme;
- Fabricação do tijolo: regular a máquina, colocar a mistura no molde e realizar a prensagem. Após esse processo, o tijolo é levado para o processo de cura;
- Cura: enquanto moldados e durante os 7 primeiros dias seguintes, os tijolos devem ser mantidos úmidos com a finalidade de realizar uma cura adequada.

### 2.8.2 Vantagens e desvantagens

Todos os materiais da construção possuem vantagens e desvantagens. É necessário conhecer os materiais e suas propriedades para aproveitar as vantagens e minimizar as desvantagens. Os tijolos de solo-cimento apresentam algumas vantagens, dentre elas, a ABCP (2000) destaca:

- Podem ser produzidos com solo local ou da região e no local da obra, o que reduz os custos de transporte do material;
- Sua confecção utiliza equipamentos simples, como a prensa manual;
- Não necessita de mão de obra especializada;
- Não consome combustível no processo de produção, já que não envolve a queima;
- A sua resistência a compressão simples se assemelha ao do tijolo cerâmico;
- Reivindica espessura mínima para argamassa de assentamento em função da regularidade de suas formas, planeza e lisura das faces.

Já de acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2010), o tijolo de solo-cimento traz outras vantagens, são elas:

- Fornecem conforto e estética;
- Fornecem de 20% até 40% de economia para a obra em relação à construção convencional;
- Reduzem em 30% o tempo de construção;
- Na estrutura dos tijolos, os encaixes e colunas embutidas nos furos distribuem melhor carga de peso sobre as paredes;
- Apresentam economia de 70% de concreto e argamassa e 50% de ferro.

Outra vantagem importante dos tijolos de solo-cimento, de acordo com estudos de Neves *et al.* (2001), é o fato de que é permitido a incorporação de outros materiais na fabricação dos tijolos, materiais como agregados provenientes de entulho reciclado e rejeitados industriais, como, por exemplo: sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto-forno.

Embora os tijolos de solo-cimento apresentem diversas vantagens, algumas desvantagens também podem ser pontuadas, assim como cuidados a serem tomados. Utilizar o solo de forma desordenada pode causar problemas ambientais, como a erosão do solo. Outro

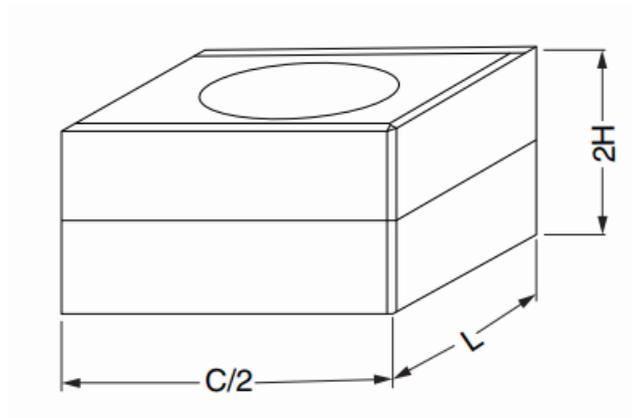
fator é que a dosagem incorreta dos materiais pode causar algumas patologias na edificação (MOTTA *et al.*, 2014)

### 2.8.3 Ensaio

De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), nos requisitos para a fabricação de tijolos de solo-cimento em prensa manual ou hidráulica estão a análise dimensional e o ensaio de resistência à compressão e ensaio de absorção de água. Por norma, dez corpos de prova devem ser produzidos, onde todos serão submetidos à análise dimensional, sete ao ensaio de resistência à compressão e três ao ensaio de absorção de água.

Para o ensaio de resistência a compressão, se faz necessário a confecção de prismas com os tijolos. A Figura 6 demonstra, segundo NBR 8492 (ABNT, 2013), como o corpo de prova deve ficar para que seja realizado o ensaio em questão.

Figura 6 – Ilustração do corpo de prova preparado a partir de tijolo vazado com duas metades invertidas e superpostas.



Fonte: NBR 8492 (ABNT, 2013).

### 3 METODOLOGIA

O trabalho em questão foi desenvolvido através da fabricação de tijolos de solo-cimento com e sem adição de fibra de coco, e testes, ambos realizados no Laboratório de materiais da Universidade Federal de Alagoas, campus do Sertão, em Delmiro Gouveia – AL.

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos para a confecção dos tijolos, assim e suas propriedades físicas e mecânicas.

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados no presente trabalho foram: solo, cimento Portland, fibra de coco, água e hidróxido de sódio. Para a produção dos tijolos de solo-cimento com os materiais citados foi utilizada uma prensa manual.

##### 3.1.1 Solo

Após testar três tipos de solos diferentes, o solo escolhido e utilizado na confecção dos tijolos foi oriundo de Água Branca, no estado de Alagoas, sendo o único que apresentou resultados satisfatórios, de acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), que apresenta as condições necessárias para a produção de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. Na Figura 7, é possível observar o solo que foi utilizado.

Figura 7 – Solo utilizado.



Fonte: Autora, 2022.

### 3.1.2 Cimento

O cimento escolhido e utilizado foi o cimento Portland do tipo CP-II-F, considerado o mais ideal para a produção, segundo a ABCP (2018). O produto foi adquirido em um comércio local da cidade de Delmiro Gouveia, no estado de Alagoas.

### 3.1.3 Fibra de coco

O coco verde utilizado para a obtenção das fibras foi fornecido por um produtor de coqueiros do município de Petrolândia, mais precisamente em uma região rural conhecida como Brejinho de Fora, no estado de Pernambuco.

Após a obtenção do coco verde, esse foi posto para secar naturalmente no sol e após alguns dias a fibra foi retirada através de um processo manual. A Figura 8 apresenta a fibra de coco que foi obtido após o procedimento.

Figura 8 – Fibra de coco utilizada.



Fonte: Autora, 2022.

### 3.1.4 Água

A água utilizada foi a do Laboratório de materiais da Universidade Federal de Alagoas, campus do Sertão. Esta água é fornecida através de um sistema de abastecimento de água da cidade de Delmiro Gouveia, no estado de Alagoas. A ABNT NBR 10833 (2012) especifica que a água deve estar livre de impurezas nocivas a hidratação do cimento. Outro tipo

de água utilizada no tratamento das fibras foi a água destilada, também mantida no Laboratório em questão.

### 3.1.5 Hidróxido de sódio

O hidróxido de sódio foi utilizado para o tratamento das fibras, com finalidade de retirar as impurezas obtidas na sua camada externa. Esse material foi obtido em um comércio local.

### 3.1.6 Prensa manual de tijolos

Na produção dos tijolos de solo-cimento, a prensa utilizada foi a manual, tendo como dimensões de tijolos fabricados: 12,5 cm de largura, 7 cm de altura e 25 cm de comprimento. A Figura 9 apresenta a prensa manual utilizada na confecção dos tijolos.

Figura 9 – Prensa manual utilizada.



Fonte: Autora, 2022.

## 3.2 Métodos

Os ensaios e os métodos estão interligados e seguem as especificações da NBR 10833 (ABNT, 2012), onde são descritos todos os procedimentos para a produção dos tijolos de solo-cimento em prensas manuais.

### 3.2.1 Caracterização dos materiais

Neste tópico serão apresentadas as principais propriedades dos materiais utilizados para a produção dos tijolos de solo-cimento.

#### 3.2.1.1 Caracterização do solo

A caracterização do solo foi obtida pelos ensaios de limites de consistência ou limites de Atterberg, que são Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP); granulometria por peneiramento e teor de matéria orgânica. Todos esses testes foram feitos de acordo com: NBR 7181 (ABNT, 2016), NBR 6459 (ABNT, 2016), NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 17053 (ABNT, 2022).

##### 3.2.1.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica do solo consiste na determinação do tamanho das partículas e suas porcentagens de ocorrência em determinada quantidade do material. O ensaio referente a essa análise, necessário para a obtenção da curva granulométrica, foi realizado seguindo as recomendações da NBR 7181 (ABNT, 2016). Nela estão indicados os métodos necessários para determinar o tamanho das partículas. No procedimento do peneiramento grosso, as peneiras utilizadas foram as peneiras 2", 1/2", 1", 3/4", 3/8", n° 4 e n° 10, que correspondem as aberturas em milímetros de: 50 mm; 38 mm; 25 mm; 19 mm; 9,5 mm; 4,8 mm e 2 mm. No peneiramento fino, as peneiras utilizadas foram as peneiras nos. 16, 30, 40, 50, 100 e 200, que correspondem as aberturas de 1,20 mm; 0,60 mm; 0,42 mm; 0,25 mm; 0,15 mm e 0,075 mm. A Figura 10 corresponde a um dos processos de peneiramento grosso e a Figura 11 apresenta as peneiras usadas no processo de peneiramento fino.

Figura 10 – a) Processo de peneiramento grosso. b) Peneiras utilizadas no processo de peneiramento fino.



Fonte: Autora, 2022.

De acordo com a massa do material que foi obtido após passar por cada peneira, as porcentagens de solo referentes aos determinados diâmetros dos grãos foram obtidas, classificando-os assim como pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila. Para encontrar essa porcentagem, no caso do peneiramento grosso, é necessário a utilização da Equação 01.

$$Q_g = \frac{M_s - M_i}{M_s} \times 100 \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

$Q_g$  = material passante (%);

$M_s$  = massa seca do material retido na peneira de 2,00 mm (g);

$M_i$  = massa do material retido acumulado em cada peneira (g).

Já no peneiramento fino, a equação utilizada para determinar a porcentagem de material passante é a Equação 02.

$$Q_f = \frac{M_h \times 100 - M_i(100 + h)}{M_h \times 100} \times N \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde:

$Q_f$  = material passante (%);

$M_h$  = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou à sedimentação (g);

$M_i$  = massa do material retido acumulado em cada peneira (g).

$N$  = material passante na peneira de 2,00 mm (%);

$h$  = umidade hidrocópica do material passante na peneira de 2,00 mm (%).

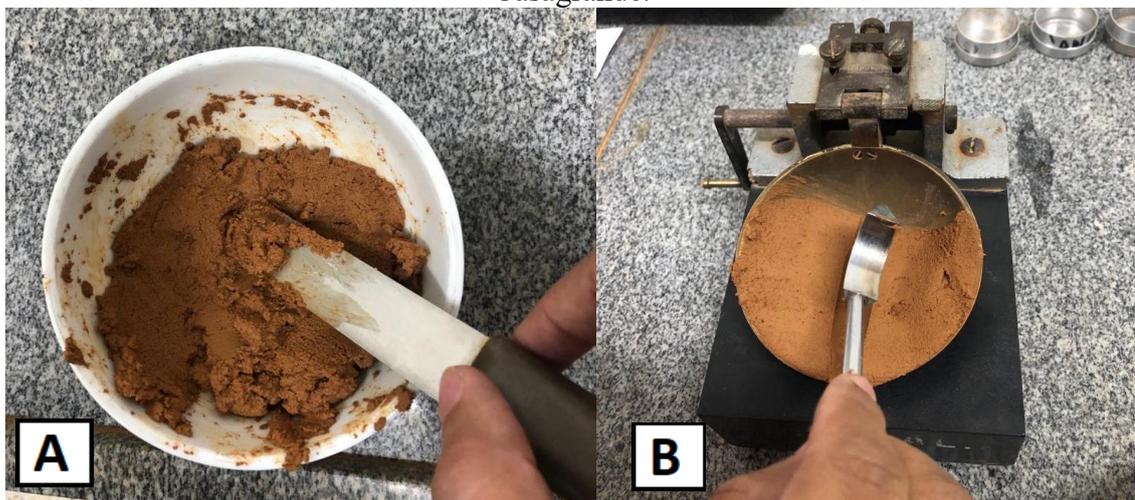
### 3.2.1.1.2 Limites de consistência

Os limites de consistência são variáveis que expressam condições de capacidade de os solos serem moldados, levando em consideração uma determinada condição de umidade e sem variar o seu volume.

Os ensaios para determinação do limite de liquidez e limite de plasticidade (limites de Atterberg) foram conduzidos conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016).

O limite de liquidez (LL) é o teor de umidade para o qual o solo muda do comportamento líquido para o plástico. A Figura 11 a) apresenta a homogeneização da amostra de solo e a Figura 11 b) ilustra a massa de solo sendo cortada ao meio com o cinzel no aparelho Casagrande durante o processo do ensaio.

Figura 11 – a) Homogeneização da amostra de solo. b) Massa do solo com o aparelho de Casagrande.



Fonte: Autora, 2022

O limite de plasticidade (LP) é o teor de umidade em que o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido. A Figura 12 a) representa a verificação da espessura do bastão e a Figura 12 b) representa as amostras colocados em cápsulas de alumínio para a determinação de suas massas úmidas.

Figura 12 – a) Verificação da espessura do bastão.  
b) Amostras do solo úmido em cápsulas de alumínio.



Fonte: Autora, 2022.

Com a massa seca e úmida foi possível se obter o limite de plasticidade do solo, através da Equação 03.

$$LP = 100 \times \frac{a-b}{b} \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde:

LP = limite de plasticidade;

a = peso da amostra úmida (g);

b = peso da amostra seca (g).

Obtidos o limite de liquidez e o limite de plasticidade, o índice de plasticidade (IP) foi calculado, através da Equação 04.

$$IP = LL - LP \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde:

IP = índice de plasticidade;

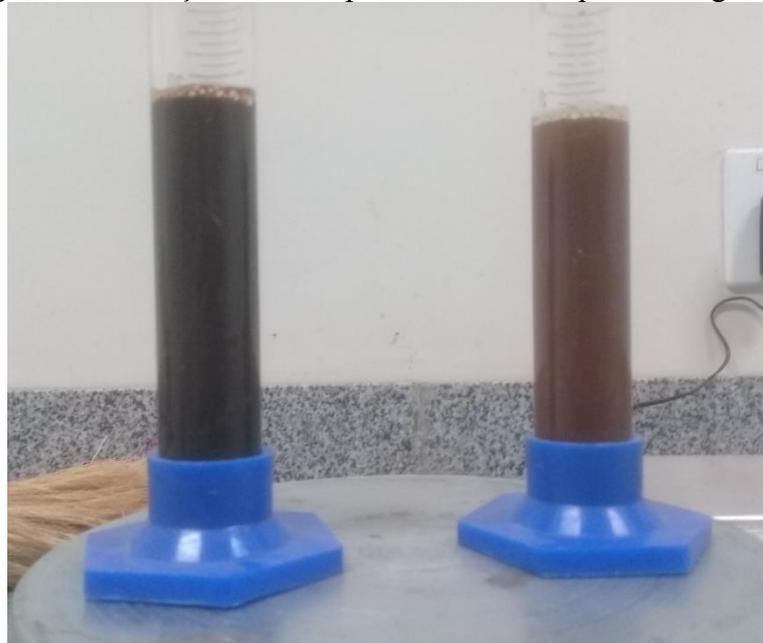
LL = limite de liquidez;

LP = limite de plasticidade.

### 3.2.1.1.3 Teor de matéria orgânica

O ensaio de teor de matéria orgânica determina a presença de impurezas orgânicas através do método de determinação colorimétrica apresentado pela NBR 17053 (ABNT, 2022) para agregado miúdo. A Figura 13 apresenta a solução padrão e a solução obtida no ensaio.

Figura 13 – Soluções obtidas para análise de impurezas orgânicas.



Fonte: Autora, 2022.

### 3.2.1.2 Caracterização das fibras

As fibras de coco passaram por um tratamento através da utilização de hidróxido de sódio. Nesse tratamento, todas as fibras, aproximadamente um balde de 18 L, ficaram imersas em uma solução de 12 L de água destilada e 120 g de hidróxido de sódio (proporção de

10 g de NaOH + 1 L de água para 1,5 L de fibra) durante uma hora, com a finalidade de remover a matéria orgânica na sua camada superficial. A Figura 14 a) apresenta as fibras imersas na solução citada anteriormente. Após esse procedimento, as fibras foram lavadas em água corrente e deixada em estufa, por vinte e quatro horas, em temperatura de 105 °C. A Figura 14 b) apresenta as fibras sendo lavadas.

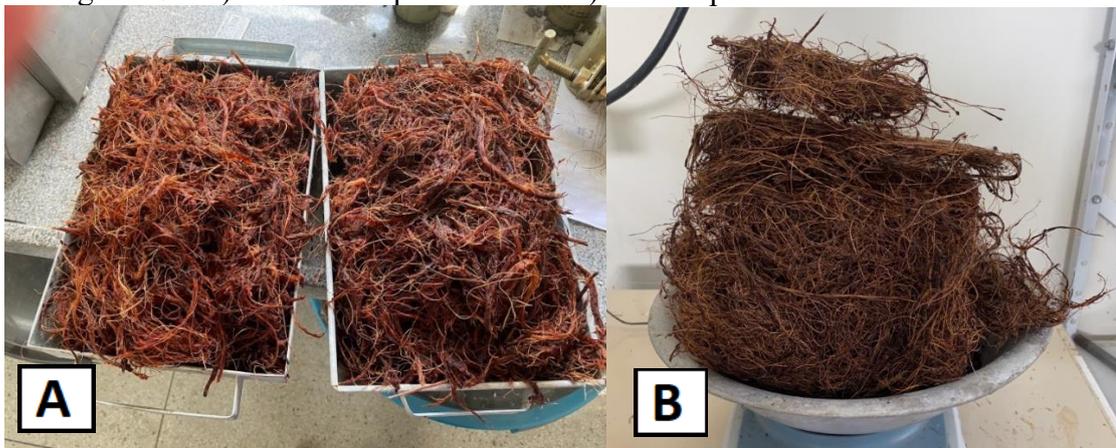
Figura 14 – a) Fibras imersas em solução. b) Fibras sendo lavadas.



Fonte: Autora, 2022.

A Figura 15 a) apresenta as fibras nas bandejas para colocação na estufa. A Figura 15 b) apresenta as fibras após vinte e quatro horas na estufa.

Figura 15 – a) Fibras indo para a estufa. b) Fibras após a estufa.



Fonte: Autora, 2022.

Após esse processo, foi possível observar que as fibras tinham um comprimento muito variado devido ao processo de desfibramento. Dessa forma, através de 200 amostras de

fibras medidas, o comprimento médio de 15 centímetros (cm) foi obtido através de uma medição com régua. A Figura 16 configura essa medição.

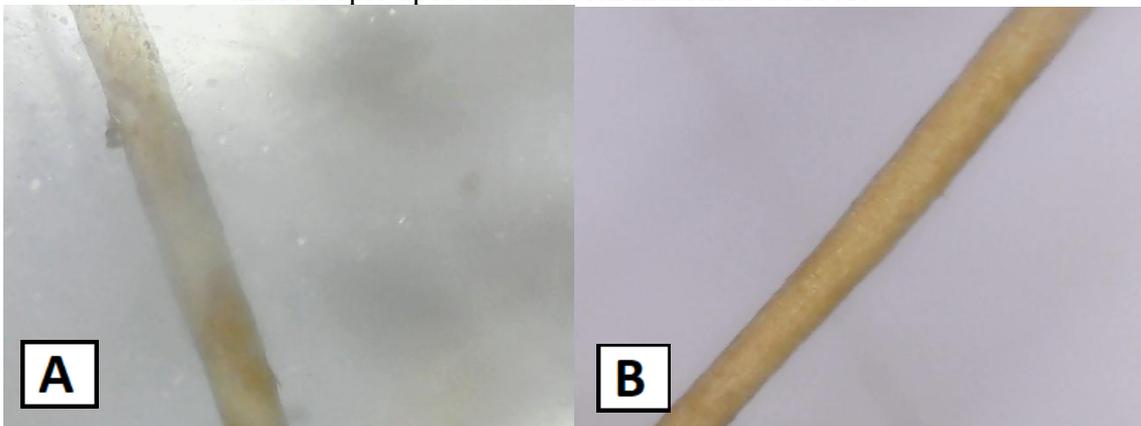
Figura 16 – Comprimento das fibras.



Fonte: Autora, 2022.

Para comprovar a remoção da lignina com a solução de hidróxido de sódio, a fibra foi analisada no microscópio antes e depois do contato com o hidróxido de sódio. A Figura 17 a) apresenta a fibra antes do hidróxido de sódio e a Figura 17 b) apresenta a fibra depois do hidróxido de sódio.

Figura 17 – a) Fibra no microscópio antes do hidróxido de sódio. b) Fibra no microscópio após contato com hidróxido de sódio.



Fonte: Autora, 2022.

Com isso, é possível observar, analisando a figura acima, que a camada natural (lignina) que cobria a fibra foi removida após 1 hora de contato com o hidróxido de sódio.

### 3.2.1.3 Moldagem dos tijolos de solo-cimento incorporados com e sem fibra de coco

A princípio, o solo passou por um processo de secagem. Com o solo totalmente seco, este foi espalhado e destorroado manualmente com uma mão de gral. Posteriormente, o material foi passado na peneira de 4,8 mm, a norma estabelece que 100% do material deve passar na malha da peneira. Em seguida, o material que passou pela peneira foi pesado em uma balança. Para iniciar definitivamente o processo de produção dos tijolos, foi realizada uma mistura do solo e do cimento na betoneira, aos poucos foi-se adicionando água até se obter uma mistura homogênea.

Com a intenção de se obter a umidade adequada, é necessário analisar a apresentação da coesão na massa, ou seja, deve-se pegar uma quantidade pequena de solo e apertar entre as mãos. Se, após isso a marca dos seus dedos ficar na amostra, a massa está no ponto correto. Outro processo realizado foi o mesmo procedimento anterior com a diferença que o material foi lançado de uma altura de um metro, ao se desfazer em pedaços pode-se afirmar que a massa está no ponto ideal. Esse processo tem o intuito de verificar a umidade ideal da mistura. A Figura 18 apresenta o teste citado anteriormente.

Figura 18 – Execução do teste sobre umidade ideal.



Fonte: Autora, 2022.

As misturas de solo-cimento foram confeccionadas com um traço de 1:10 (cimento:solo) em volume. As misturas foram produzidas com 18 L de solo, 1,8 L de cimento e 3,5 L de água em cada um dos 4 traços. Nas composições com fibra, três tipos de traços foram confeccionados, como indicado em norma, um com 2%, outro com 5% e outro com 7% de fibra

de coco, em relação ao cimento. A Tabela 11 apresenta a composição dos tijolos de solo-cimento com fibra de coco.

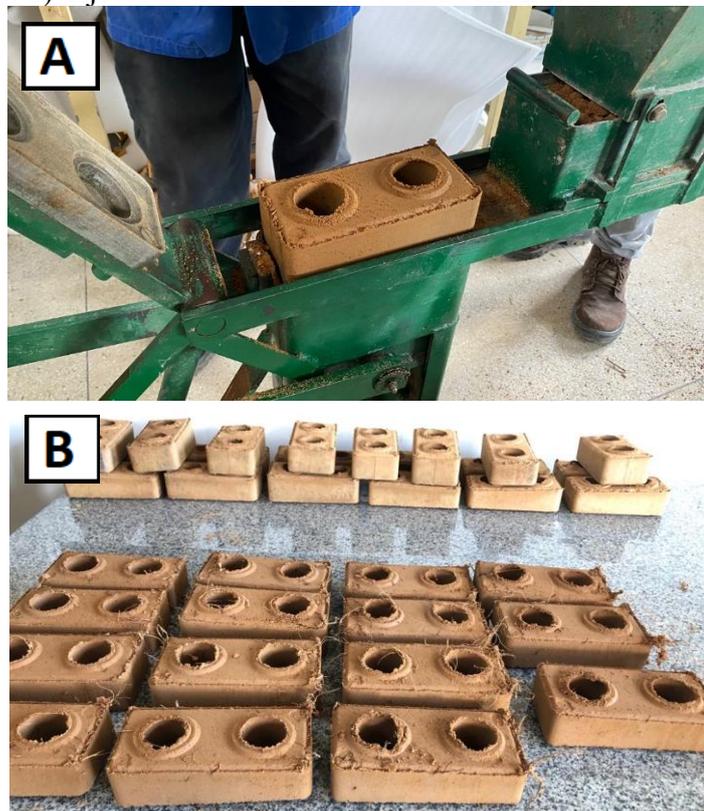
Tabela 11 – Composição dos tijolos de solo-cimento-fibra.

Composição	Solo (L)	Cimento (L)	Água (L)	Fibra (%)
CP1	18	1,8	3,5	0
CP2	18	1,8	3,5	2
CP3	18	1,8	3,5	5
CP4	18	1,8	3,5	7

Fonte: Autora, 2022.

A mistura homogênea no ponto adequado foi levada para a prensa manual para a confecção dos tijolos. No processo de moldagem e cura dos corpos de prova, foi levada em consideração a NBR 10833 (ABNT, 2012). Após serem moldados, os tijolos seguiram para o processo de cura onde ficam durante 7 dias sendo molhados duas vezes ao dia. A Figura 19 a) apresenta o procedimento de confecção dos tijolos na prensa manual e a Figura 19 b) apresenta os tijolos com e sem fibra confeccionados.

Figura 19 – a) Confecção dos tijolos de solo-cimento.  
b) Tijolos de solo-cimento com e sem fibra de coco.



Fonte: Autora, 2022.

### 3.2.1.4 Caracterização dos corpos de prova

A caracterização dos corpos de prova foi realizada através dos métodos de Análise Dimensional, Resistência à Compressão e Absorção de Água. Estes ensaios são solicitados pela NBR 8491 (ABNT, 2012) como requisito para tijolos de solo-cimento.

Todos os tijolos foram manejados de forma cuidadosa e adequada, de forma que não houvesse danos estruturais ao material.

#### 3.2.1.4.1 Análise dimensional

De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2013), os tijolos precisam respeitar uma tolerância nas dimensões nominais dos tijolos de +/- 1,00 mm para comprimento (C), largura (L) e altura (H). Essas dimensões nominais estão representadas na Tabela 12. Dimensões diferentes podem ser apresentadas, desde que o tijolo permaneça com altura (H) menor que a largura (L).

Tabela 12 – Tijolos de solo-cimento e dimensões nominais.

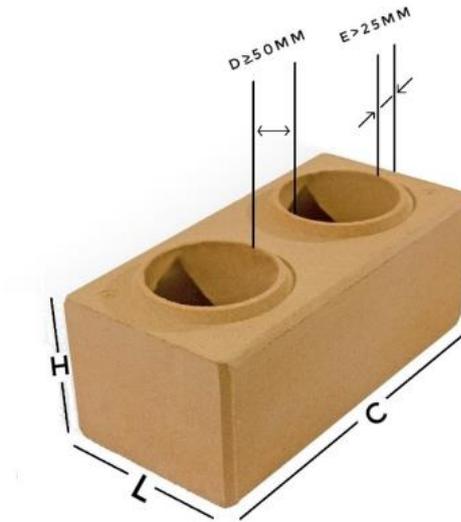
<b>Tipos</b>	<b>C (mm)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>H (mm)</b>
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: adaptado da NBR 8491 (ABNT, 2012).

Onde, o tipo A representa o tijolo solo-cimento maciço e o tipo B representa o tijolo solo-cimento vazado.

Utilizando um paquímetro com precisão de 0,01 mm, alcance máximo de 250 mm, o ensaio foi realizado, onde foram feitas medidas em três pontos distintos de cada face dos tijolos, uma em cada extremidade e uma no meio do corpo de prova. Segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012), a distância mínima dos entornos precisa ser de, no mínimo, 25 mm, e, entre os furos, 50 mm. A Figura 20 representa essa afirmativa.

Figura 20 – Tijolo vazado de solo-cimento.



Fonte: adaptado da NBR 8491 (ABNT, 2012).

#### 3.2.1.4.2 Ensaio de resistência à compressão

Depois da cura, os tijolos foram preparados para o ensaio de resistência à compressão, onde 7 tijolos de cada traço foram submetidos ao ensaio. Todo o procedimento foi realizado conforme a NBR 8492 (ABNT, 2012).

Após a tomada das medidas dos tijolos, eles foram serrados ao meio por uma serra circular, perpendiculares à sua maior dimensão, com a finalidade de atingir a simetria necessária para o ensaio. Posteriormente, os tijolos foram capeados, onde as faces foram superpostas e receberam uma camada fina de 3 mm de espessura de pasta de cimento Portland, composta por cimento e água, sendo preparada com um repouso de 30 minutos. Após o endurecimento, as duas faces externas foram capeadas. A princípio, uma face externa foi capeada e aguardou-se até que endurecesse; no dia seguinte, a outra face externa foi capeada. A Figura 21 ilustra a união dos tijolos cortados ao meio pela serra circular.

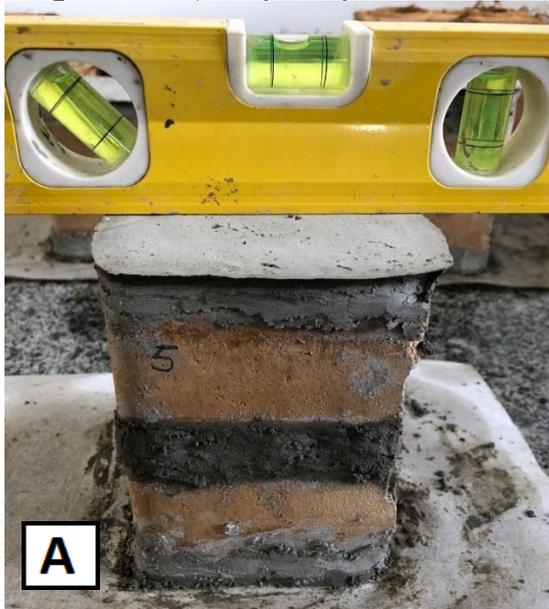
Figura 21 – Tijolos capeados.



Fonte: Autora, 2022.

Com a finalidade de saber se o bloco estava nivelado, um nível de bolha foi utilizado para que as faces do bloco ficassem planas, para que ao ser colocado na máquina, a força seja distribuída igualmente sobre o bloco, de forma que não haja erro no ensaio. A Figura 22 ilustra esse procedimento. Depois que a pasta de cimento Portland endureceu, os blocos foram submersos em água por 24 horas em um tanque de água. A Figura 22 b) apresenta essa afirmação.

Figura 22 – a) Corpo de prova nivelado.



b) Corpos de prova submersos em tanque de água.



Fonte: Autora, 2022.

Passadas as 24 horas, os tijolos foram medidos e colocados na prensa de ensaios, aplicando ou o carregamento no eixo dos tijolos, até sua ruptura (Figura 23).

Figura 23 – Corpo de prova no ensaio de compressão.



Fonte: Autora, 2022.

Com a força máxima aplicada e área média das superfícies dos blocos, é possível obter a resistência em megapascals (MPa) pela Equação 05.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (\text{Eq. 05})$$

#### 3.2.1.4.3 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado seguindo a NBR 8492 (ABNT, 2013) e foi realizado em 3 tijolos de cada um dos traços.

Após o processo de cura, os tijolos foram colocados na estufa à 105 °C durante 24 horas para que toda a umidade fosse retirada, como mostra a Figura 24.

Figura 24 – Tijolos na estufa.



Fonte: Autora, 2022.

Posteriormente, os tijolos foram pesados afim de se obter suas massas secas em gramas (g). Logo após, foram submersos em um tanque de água durante 24 horas para que houvesse a saturação dos mesmos, como mostra a Figura 25.

Figura 25 – Tijolos submersos em tanque de água.



Fonte: Autora, 2022.

Passado esse período, os tijolos foram retirados da água e brevemente enxugados, respeitando o intervalo máximo de 3 minutos, para que o excesso de água fosse eliminado. Após esse procedimento, os tijolos foram pesados afim de se obter a massa saturada em gramas (g), como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Obtenção da massa saturada do tijolo.



Fonte: Autora, 2022.

Conforme a NBR 8492 (ABNT, 2013), o valor de absorção de água dos tijolos expresso em porcentagem é obtido através da Equação 06.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (\text{Eq. 06})$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados que foram obtidos na caracterização do solo, nos ensaios de resistência a compressão, absorção de água e análise dimensional. Ao apresentar os resultados, estes são discutidos de forma a entender o que representam.

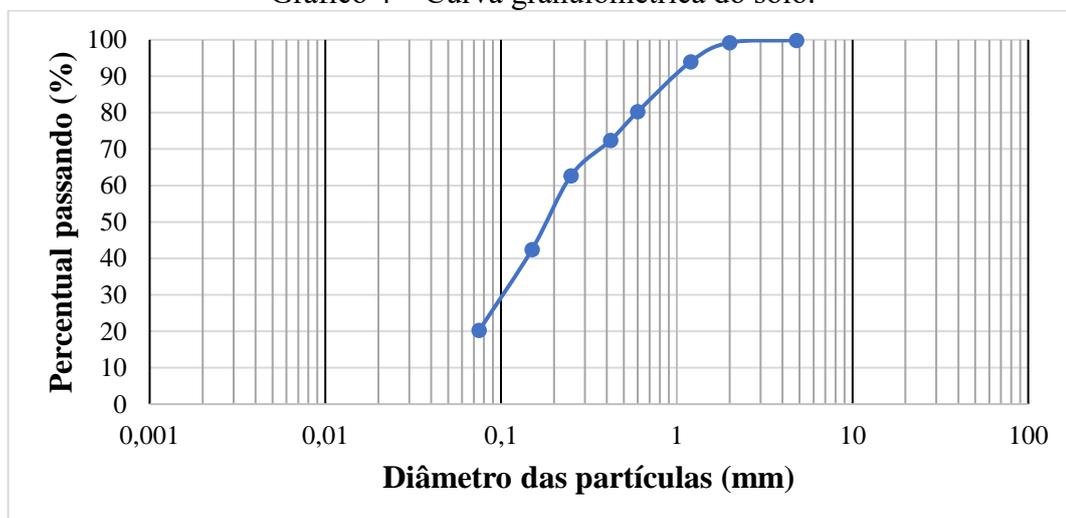
### 4.1 Caracterização do solo

A caracterização do solo ocorreu através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e teor de matéria orgânica, de acordo com as normas NBR 7181 (ABNT, 2016), NBR 6459 (ABNT, 2016), NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 17053 (ABNT, 2022).

#### 4.1.1 Análise granulométrica

A partir da execução da análise, foi possível construir o Gráfico 4, onde os pontos representam as porcentagens passantes pelas peneiras ABNT nº 4 (4,8 mm), nº 10 (2,0 mm), nº 20 (1,2 mm), nº 30 (0,6), nº 40 (0,42), nº 60 (0,25), nº 100 (0,15) e nº 200 (0,075 mm). Os valores para as peneiras de nº 4 e de nº 200 são de 100% e 20,25%, respectivamente. Esses valores estão de acordo com o que é estabelecido na NBR 10833 (ABNT, 2012), que especifica que o percentual passante na peneira de nº 4 deve ser de 100% e de 10% a 50% na peneira de nº 200.

Gráfico 4 – Curva granulométrica do solo.



Fonte: Autora, 2022.

As Tabelas 13, 14 e 15 apresentam os valores obtidos no ensaio de análise granulométrica do solo: umidade higroscópica, peneiramento grosso e peneiramento fino.

Tabela 13 – Umidade hidrostática.

<b>Amostra</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Umidade média (%)</b>
1	4,41	4,425
2	4,44	

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 14 – Peneiramento grosso.

<b>Peneiramento grosso</b>	
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Material passando (%)</b>
50	100
38	100
25	100
19	100
9,5	100
4,8	99,87
2,0	99,22

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 15 – Peneiramento fino.

<b>Peneiramento fino</b>	
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Material passando (%)</b>
1,20	94,00
0,60	80,30
0,42	72,42
0,25	62,71
0,15	42,44
0,075	20,25

Fonte: Autora, 2022.

De acordo com os valores apresentados, foi possível observar que o solo possui em sua composição 5,87% de areia grossa, 17,59% de areia média, 42,46% de areia fina e 34,08% de argila e silte. A quantidade exata de argila e de silte só poderiam ser determinados através de um ensaio de sedimentação.

#### 4.1.2 Limites de consistência

Os limites de consistência foram estabelecidos através da metodologia aplicada na NBR 6459 (ABNT, 2016), com a finalidade de determinar o limite de liquidez e na NBR 7180 (ABNT, 2016), com finalidade de determinar o limite de plasticidade. Os resultados encontrados foram comparados com os requisitos exigidos pela NBR 10833 (ABNT, 2012). A Tabela 16 demonstra essa comparação.

Tabela 16 – Comparação dos resultados de LL, LP e IP com a NBR 10833 (ABNT, 2012).

<b>Solo</b>	<b>Parâmetros NBR 10833 (ABNT, 2012)</b>	<b>Resultado</b>
Limite de Liquidez (LL)	≤ 45%	26,98%
Limite de Plasticidade (LP)	-	16,63%
Índice de Plasticidade (IP)	≤ 18%	10,35%

Fonte: Autora, 2022.

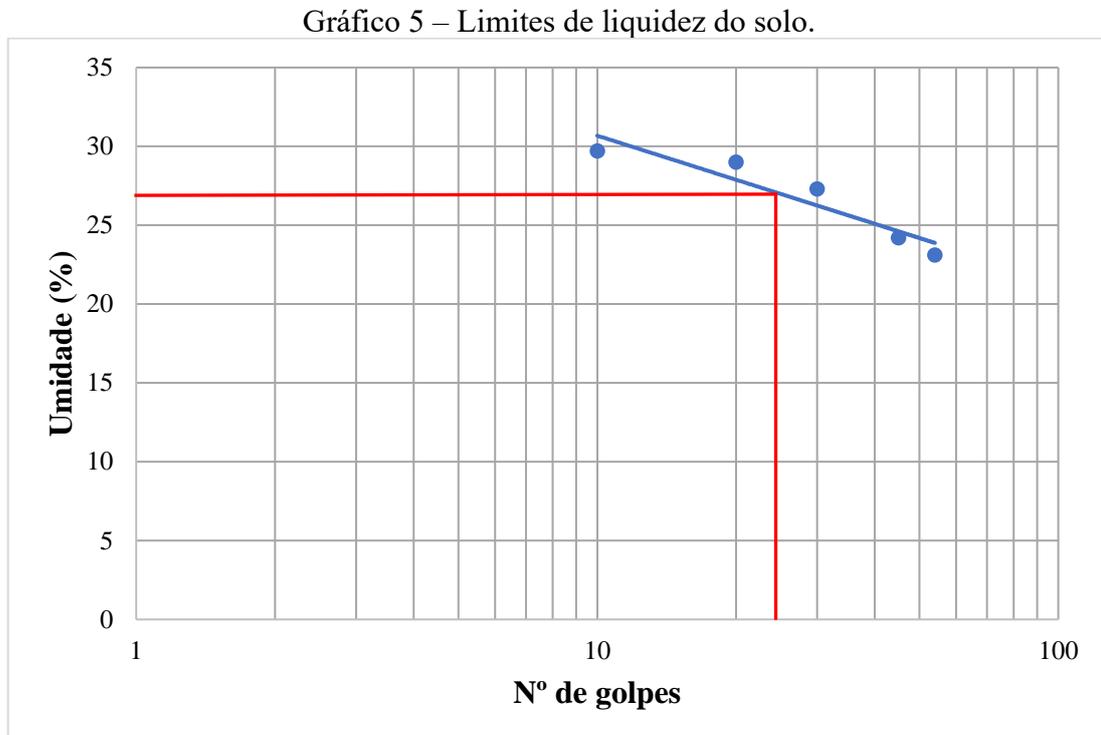
O limite de liquidez do solo obteve um resultado de 26,98%, enquanto o índice de plasticidade, encontrado pela subtração de LL por LP, foi de 10,35%. Os resultados foram satisfatórios; por isso, o solo é considerado ideal para ser utilizado na fabricação de tijolos de solo-cimento. Com o valor de IP dentro das especificações da norma, o solo demonstra a boa plasticidade por obter quantidade desejada de grãos finos (silte + argila), o que oferece à mistura boa capacidade de moldagem na etapa de confecção do tijolo. Os dados do ensaio realizado no aparelho de Casagrande estão representados na Tabela 17.

Tabela 17 – Limites de consistência.

<b>Resultados</b>		
<b>LL</b>	<b>LP</b>	<b>IP</b>
26,98%	16,63%	10,35%

Fonte: Autora, 2022.

Através desses dados, o Gráfico 5, chamado gráfico de influência, foi plotado. Este é representado por dois valores (teor de umidade X número de golpes). O limite de liquidez foi determinado quando a umidade correspondeu a 25 golpes.



Fonte: Autora, 2022.

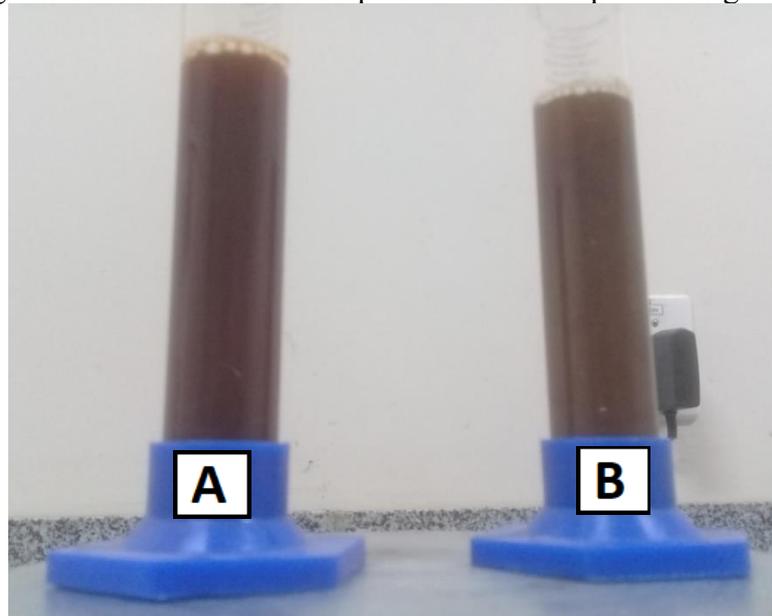
Através dos resultados obtidos, conclui-se que o solo utilizado está dentro dos parâmetros exigidos em norma para fabricação de tijolos de solo-cimento com caráter construtivo, isso se deve ao fato de que o mesmo apresenta em sua composição a quantidade de argila necessária para estabilizar o cimento, o que permite a moldagem e compactação do tijolo.

#### 4.1.3 Teor de matéria orgânica

Para determinar o teor de matéria orgânica no solo foi utilizada a NBR 17053 (ABNT, 2022). Esta avalia a quantidade de matéria orgânica por comparação colorimétrica.

Por norma, a solução obtida deve apresentar cor mais clara do que a solução padrão obtida. Quanto mais clara for a solução obtida, menor é seu teor de impureza orgânica e quanto mais próxima sua cor estiver da solução padrão obtida, maior é seu teor de matéria orgânica. A Figura 27 mostra a solução obtida e a solução padrão obtida para a conferência do resultado.

Figura 27 – Nessler utilizados para análise de impurezas orgânicas.



Fonte: Autora, 2022.

- A – Solução padrão obtida (97 ml de hidróxido de sódio + 3 ml de ácido tânico a 2%);  
 B – Solução obtida (100 ml de hidróxido de sódio + solo).

A diferença colorimétrica entre as duas soluções apresentadas, onde a segunda (solução obtida) se apresenta mais clara que a primeira (solução padrão), indica que o teor de matéria orgânica está apropriado.

É importante verificar o teor de matéria orgânica no solo, pois esta interfere diretamente na resistência do solo a compactação, aumenta a coesão entre as partículas minerais e altera o arranjo estrutural e na densidade do solo. Isso influencia na capacidade de suportar carga (BRAIDA, 2008).

#### 4.2 Ensaio de resistência a compressão

Este ensaio foi realizado conforme os procedimentos sugeridos pela NBR 8492 (ABNT, 2013). Para a realização do ensaio, sete tijolos de cada um dos quatro traços foram cortados ao meio, perpendicular à sua maior dimensão, superpostas suas faces maiores de forma invertida com o auxílio de uma pasta fina de cimento Portland. Após o endurecimento dos tijolos, estes receberam capeamento de 3 mm de espessura nas duas faces externas com um intervalo de 12 horas para o endurecimento do cimento.

Passado o tempo do endurecimento do cimento, os tijolos foram submersos em um tanque de água por 6 horas, sendo retirados e secados superficialmente pouco antes do ensaio, logo estes foram rompidos, respeitando o limite de intervalo de 3 minutos. As Tabelas 18, 19, 20 e 21, apresentam os valores obtidos no ensaio, assim como suas médias aritméticas, desvio padrão amostral e variância amostral, sabendo que quanto mais próximo o valor for de zero, mais homogênea é a amostra.

Tabela 18 – Ensaio de resistência à compressão simples nos tijolos sem adição de fibra.

<b>Qnt. de fibra</b>	<b>0%</b>	
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
10239,82	7000	0,68
9903,37	10300	1,04
11232,03	15200	1,35
9991,76	10500	1,05
10354,08	8700	0,84
10215,24	12900	1,26
9820,25	8200	0,84
<b>Média</b>		1,01
<b>Desvio padrão</b>		0,24
<b>Variância</b>		0,06

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 19 – Ensaio de resistência à compressão nos tijolos com adição de fibra a 2%.

<b>Qnt. de fibra</b>	<b>2%</b>	
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
10150,14	16400	1,62
9779,25	10200	1,04
9824,39	11000	1,12
9884,38	12600	1,27
9999,28	10000	1,00
9939,60	11700	1,18
9937,52	10700	1,08
<b>Média</b>		1,19
<b>Desvio padrão</b>		0,21
<b>Variância</b>		0,04

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 20 – Ensaio de resistência à compressão nos tijolos com adição de fibra a 5%.

<b>Qnt. de fibra</b>	<b>5%</b>	
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
10015,94	7000	0,70
9896,55	7100	0,72
9960,57	13600	1,37
9987,43	12800	1,28
9965,50	9700	0,97
9922,22	9500	0,96
9931,03	9600	0,97
<b>Média</b>		0,99
<b>Desvio padrão</b>		0,25
<b>Variância</b>		0,06

Fonte: Autora, 2022.

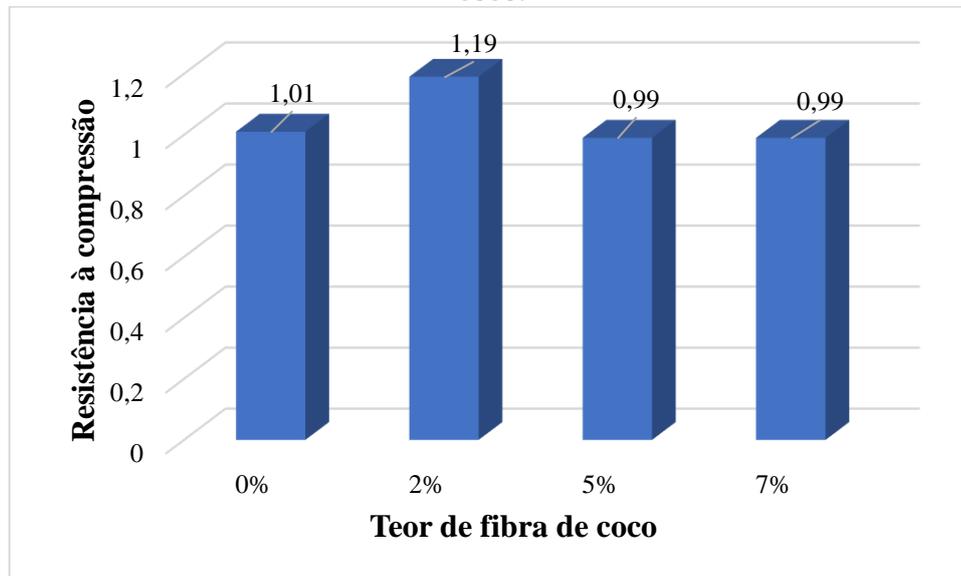
Tabela 21 – Ensaio de resistência à compressão nos tijolos com adição de fibra a 7%.

<b>Qnt. de fibra</b>	<b>7%</b>	
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
10039,78	12900	1,28
9990,80	4000	0,40
10261,16	13100	1,28
9742,14	7200	0,74
9988,66	12900	1,29
10133,31	10100	1,00
10004,03	9600	0,96
<b>Média</b>		0,99
<b>Desvio padrão</b>		0,33
<b>Variância</b>		0,11

Fonte: Autora, 2022.

Para uma melhor análise e visualização, no Gráfico 6, estão expostas as médias de compressão.

Gráfico 6 – Média de compressão dos tijolos de solo-cimento com e sem adição de fibra de coco.



Fonte: Autora, 2022.

Dos testes de resistência à compressão simples realizados, nenhum dos lotes de tijolos submetidos tiveram resistência individual e resistência média dentro do exigido pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012).

Embora nenhum dos traços tenha apresentado resultados satisfatórios, é possível observar que a fibra de coco melhorou consideravelmente no traço com 2% de fibra em relação ao traço sem fibra. Os outros traços com 5% e 7% de fibra apresentaram resultados parecidos, isso pode se dar pelo fato de que as fibras colocadas foram em quantidades maiores e por serem muito longas, dificultaram o processo de moldagem, o que pode ter influenciado na qualidade do tijolo. Outro fator que pode ter influenciado os resultados insatisfatórios é o pouco teor de cimento na mistura ou a quantidade incorreta de água utilizada.

#### 4.3 Ensaio de absorção de água

Nesse ensaio, foram levados em consideração os procedimentos sugeridos na NBR 8492 (ABNT, 2013). Três tijolos de cada um dos quatro traços foram submetidos ao ensaio, onde estes foram secos em estufa até obter consistência de massa, pesados e registrados suas massas secas ( $m_1$ ).

Posteriormente, após os tijolos atingirem temperatura ambiente, estes foram imersos em um tanque por 24 horas, pesados e registrados suas massas saturadas ( $m_2$ ). Os valores encontrados para o ensaio foram os que estão representados nas Tabelas 22, 23, 24 e 25,

assim como suas médias aritméticas, desvio padrão amostral e variância amostral, sabendo que quanto mais próximo o valor for de zero, mais homogênea é a amostra.

Tabela 22 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP1, sem adição de fibra de coco verde.

Qt. de fibra		0%	
CP1	m1 (g)	m2 (g)	Absorção (%)
8	1553	1787	15,07
9	1528	1750	14,53
10	1641	1883	14,75
<b>Média</b>			14,78
<b>Desvio padrão</b>			0,27
<b>Variância</b>			0,07

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 23 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP2, com adição de 2% de fibra de coco verde.

Qt. de fibra		2%	
CP2	m1 (g)	m2 (g)	Absorção (%)
8	1479	1725	16,63
9	1358	1571	15,68
10	1442	1661	15,19
<b>Média</b>			15,83
<b>Desvio padrão</b>			0,73
<b>Variância</b>			0,54

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 24 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP3, com adição de 5% de fibra de coco verde.

Qt. de fibra		5%	
CP3	m1 (g)	m2 (g)	Absorção (%)
8	1458	1570	7,68
9	1480	1769	19,53
10	1262	1469	16,40
<b>Média</b>			14,54
<b>Desvio padrão</b>			6,14
<b>Variância</b>			37,69

Fonte: Autora, 2022.

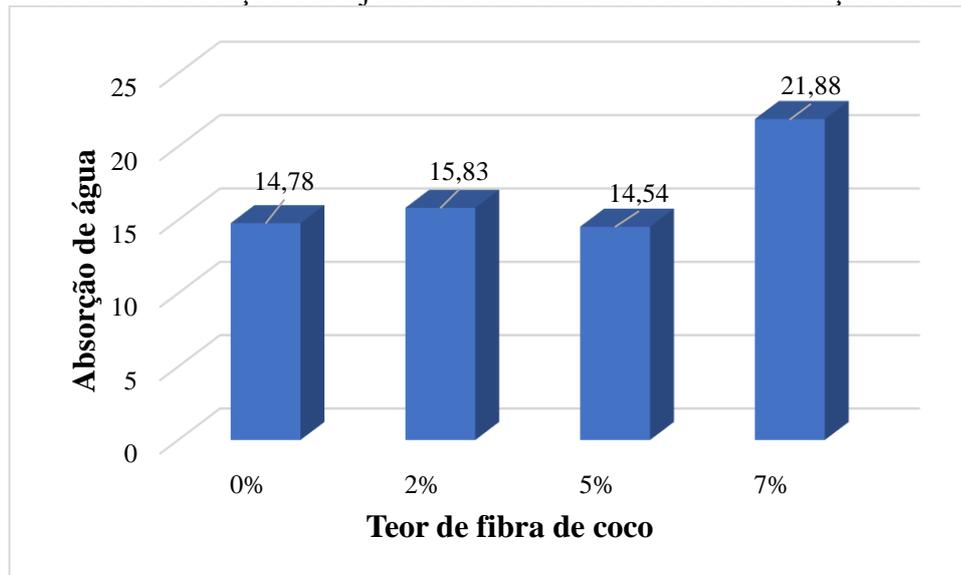
Tabela 25 – Ensaio de absorção de água nos tijolos CP4, com adição de 7% de fibra de coco verde.

<b>Qnt. de fibra</b>	<b>7%</b>		
<b>CP4</b>	<b>m1 (g)</b>	<b>m2 (g)</b>	<b>Absorção (%)</b>
8	1347	1690	25,46
9	1489	1723	15,72
10	1235	1537	24,45
<b>Média</b>			21,88
<b>Desvio padrão</b>			5,36
<b>Variância</b>			28,74

Fonte: Autora, 2022.

Para uma melhor análise e visualização, no Gráfico 7, estão expostas as médias de absorção.

Gráfico 7 – Média de absorção dos tijolos de solo-cimento com e sem adição de fibra de coco.



Fonte: Autora, 2022.

O único lote de tijolos que não está dentro das especificações é o de 7% em quantidade de fibra de coco, nele podemos encontrar valores individuais de absorção maiores que 22%, assim como a média dos valores de absorção desse traço foi maior que 20%, o que também não é considerado ideal. Os demais lotes de tijolos estão dentro dos parâmetros.

Diante dos resultados apresentados, é possível observar que, quanto maior é a quantidade de fibras, maior é a absorção. Isso seria comprovado se o tijolo 8 do CP3 não tivesse apresentado um resultado tão baixo que pode ter sido devido a erros na sua moldagem, levando em conta a dificuldade enfrentada para os tijolos com maior quantidade de fibra.

Observando os valores individuais, pode-se observar que o traço com maior absorção de água é o traço com 7% de fibra, ultrapassando, inclusive, o valor máximo exigido em norma. Isso pode ser devido a quantidade de fibra, levando em conta a dificuldade na moldagem citada anteriormente. O traço com menor valor de absorção de água foi o de 5% de fibra, diferindo minimamente do traço sem adição de fibra. O traço com 2% de fibra, considerado o mais próximo do valor ideal no ensaio anterior, de resistência a compressão, também está dentro do exigido em norma.

#### 4.4 Método de análise dimensional

Todos os tijolos de cada traço foram submetidos a análise dimensional, ao todo, dez de cada um dos quatro traços. Para cada dimensão do tijolo, 3 aferições em pontos distintos de cada face foram realizadas, onde em cada extremidade, uma aferição foi realizada e uma aferição foi realizada no meio do tijolo.

Nas Tabelas 26, 27, 28 e 29 foram apresentadas o comprimento (C), a largura (L), a altura (H), a distância mínima entre os dois furos dos tijolos (D) e a espessura mínima das paredes (E1; E2), assim como suas médias aritméticas, desvio padrão amostral e variância amostral, sabendo que quanto mais próximo o valor for de zero, mais homogênea é a amostra.

Tabela 26 – Análise dimensional dos tijolos padrão (CP1) sem adição de fibra de coco.

CP1	Qnt. de fibra:	0%				
	C (mm)	L (mm)	H (mm)	D (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)
1	198,70	99,22	55,64	50,52	26,07	25,52
2	198,38	97,70	54,02	50,23	25,78	25,68
3	198,70	100,03	54,28	50,31	25,84	26,04
4	198,82	100,10	56,08	50,64	26,10	26,56
5	199,24	100,32	58,47	50,81	26,25	25,72
6	198,82	100,46	58,80	51,73	26,62	26,91
7	198,46	100,29	52,79	50,08	25,37	25,74
8	198,94	100,25	56,48	50,77	26,12	26,92
9	198,53	100,20	52,93	50,18	25,50	25,28
10	198,85	100,39	58,74	51,60	26,54	26,38
<b>Média</b>	198,74	99,90	55,82	50,69	26,02	26,08
<b>Desvio padrão</b>	0,25	0,85	2,31	0,57	0,41	0,58
<b>Variância</b>	0,06	0,72	5,35	0,33	0,17	0,34

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 27 – Análise dimensional dos tijolos (CP2) com adição de 2% de fibra de coco.

CP2	Qt. de fibra:	2%				
	C (mm)	L (mm)	H (mm)	D (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)
1	198,62	100,43	49,94	50,89	25,90	26,32
2	198,13	100,47	55,35	51,92	26,83	26,94
3	199,20	100,30	50,55	51,45	26,58	25,76
4	198,66	100,79	55,94	52,13	27,21	26,87
5	198,71	100,47	50,18	51,15	26,25	25,83
6	198,78	100,59	50,94	51,65	26,74	26,23
7	198,73	100,58	51,39	51,78	26,62	26,17
8	198,83	100,56	55,36	51,99	27,03	26,81
9	198,58	100,65	50,41	51,30	26,35	25,97
10	198,63	100,44	51,47	51,89	26,74	26,45
<b>Média</b>	198,69	100,53	52,15	51,62	26,63	26,34
<b>Desvio padrão</b>	0,26	0,14	2,40	0,40	0,38	0,43
<b>Variância</b>	0,07	0,02	5,75	0,16	0,15	0,18

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 28 – Análise dimensional dos tijolos (CP3) com adição de 5% de fibra de coco.

CP	Qt. de fibra:	5%				
	C (mm)	L (mm)	H (mm)	d (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)
1	198,74	100,55	58,12	52,21	27,91	25,56
2	198,80	100,36	51,25	50,33	25,32	26,98
3	198,40	100,21	51,85	51,85	27,79	25,72
4	198,64	100,42	53,29	50,65	25,75	26,11
5	198,69	100,34	50,99	50,23	25,15	26,12
6	198,80	100,54	51,30	51,43	27,10	26,14
7	198,90	100,98	51,70	51,73	27,63	25,91
8	198,55	100,43	53,59	51,94	27,84	25,83
9	198,99	100,81	54,93	52,12	27,89	26,43
10	200,70	101,72	51,59	51,65	27,51	25,67
<b>Média</b>	198,92	100,64	52,86	51,41	26,99	26,05
<b>Desvio padrão</b>	0,65	0,44	2,24	0,74	1,13	0,42
<b>Variância</b>	0,42	0,20	5,02	0,55	1,27	0,18

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 29 – Análise dimensional dos tijolos (CP4) com adição de 7% de fibra de coco.

CP4	Qnt. de fibra:	7%				
	C (mm)	L (mm)	H (mm)	D (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)
1	198,84	100,34	51,05	50,10	25,05	25,87
2	197,36	100,60	59,99	51,10	26,75	26,91
3	198,85	100,40	54,01	50,67	25,60	26,32
4	199,20	100,69	57,15	50,71	25,80	26,11
5	198,99	100,64	52,24	50,56	25,50	25,98
6	199,06	100,62	56,62	50,68	25,70	25,76
7	198,90	100,64	52,02	50,48	25,45	25,98
8	199,59	100,86	52,09	50,52	25,55	26,14
9	198,92	100,48	59,29	50,89	26,48	26,88
10	199,17	100,54	51,29	50,23	25,10	25,39
<b>Média</b>	198,89	100,58	54,58	50,59	25,70	26,13
<b>Desvio padrão</b>	0,58	0,15	3,40	0,29	0,54	0,47
<b>Variância</b>	0,34	0,02	11,56	0,09	0,29	0,22

Fonte: Autora, 2022.

As verificações realizadas nos corpos de prova, indicaram conformidade em relação ao comprimento, altura e largura dos tijolos do tipo B, de acordo com a NR 8491 (ABNT, 2012), que considera, como ideal, as dimensões de 240 x 120 x 70 mm, as médias dos lotes de tijolos produzidos foram 199 x 100 x 54 mm.

Por serem tijolos do tipo B, que são vazados ou com furos, foram medidas, com eixo perpendicular a superfície, a espessura das paredes dos tijolos (e) e a distância mínima entre os dois furos (d), o resultado foi de 26 mm e 51 mm, respectivamente. Isso torna os tijolos dentro do aceitável, conforme descrito na NBR 8491 (ABNT, 2012), onde o valor é de  $\geq 25$  mm para a espessura das paredes dos tijolos e  $\geq 50$  mm para a distância entre os dois furos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em concordância com os objetivos propostos nesse trabalho de conclusão de curso, as seguintes conclusões são pontuadas:

1. Normalmente, os materiais utilizados são de fácil aquisição e o processo de fabricação de tijolos de solo-cimento-fibra é simples, isso viabiliza a produção em escala industrial ou em sistema de mutirão;
2. O solo utilizado na pesquisa se mostrou adequado para a produção de tijolos de solo-cimento;
3. No processo de fabricação dos tijolos é necessário tomar cuidados, incluindo atentar-se ao comprimento da fibra, com a finalidade de evitar que fissuras surjam nos tijolos resultando em um produto de má qualidade;
4. Os testes de resistência a compressão forneceram resultados importantes e insatisfatórios em todas as composições para a comercialização dos tijolos para Construção Civil.
5. Os testes de e absorção de água forneceram resultados importantes e insatisfatórios para a comercialização dos tijolos para Construção Civil, apenas na composição de 7% de fibra de coco. As demais composições apresentam resultados satisfatórios.
6. Os testes de análise dimensional forneceram resultados importantes e satisfatórios em todas as composições para comercialização dos tijolos para Construção Civil;
7. Em relação aos resultados dos testes de resistência à compressão, a melhor formulação foi 2% de fibra de coco;
8. Em relação aos resultados dos testes de absorção de água, a melhor formulação foi 5% de fibra de coco;
9. Todas as composições com e sem adição de fibra, não atenderam aos requisitos da ABNT NBR 8491 (2012), o que pontua que estas não estão de acordo em absorção de água e resistência a compressão, apenas em análise dimensional;
10. Os tijolos fabricados e analisados não apresentam as características necessárias para serem utilizados como elemento construtivo de vedação em alvenaria.

## **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Para trabalhos posteriores, recomenda-se:

1. Testar outros tipos de solo na fabricação dos tijolos;
2. Análises com resíduos até 4%;
3. Utilizar a fibra em comprimentos menores ou triturada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, W. M.; RIBEIRO, MELO, M. F. V. Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro Gigante vs híbridos. *In*: CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; FERREIRA, J. M. S. (Ed.). **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 232 p. p. 37- 60.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3. ed. São Paulo: ABCP, 2000. 19 p. (BT – 111).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p. (Bt-106). Disponível em: <https://solucoeparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/11/28-Guia-basico-de-utilizacao-do-cimento-portland.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Cimento: diferentes tipos e aplicações**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento-diferentes-tipos-e-aplicacoes/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solo**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento – requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com a utilização da prensa manual ou hidráulica**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17053: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2022.

- BRAIDA, J; REICHERT, J; REINERT, J; SEQUINATTO, L. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008. v. 32, n. 2, p. 477-485.
- BRAINER, M. Produção de coco: o Nordeste é um destaque nacional. **Caderno setorial ETENE**. n. 61, dez, 2018.
- BRAINER, M. Coco: Produção e mercado. **Caderno setorial ETENE**. n. 206, dez, 2021.
- CAPUTO, H. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LCT, 1988
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra de casca de coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p.533- 535, 2002.
- CASTILHOS, L. **Fibra de coco**. Instituto de Tecnologia do Paraná. Paraná: Tecpar, 2011. 23 p. p. 04.
- CITADIN, D. **Impactos ambientais causados pela Construção Civil**. Sienge, 2017. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/impactos-ambientais-causados-pela-construcao-civil/>. Acesso em: 27 set. 2022.
- COQUEIROS HÍBRIDOS DO BRASIL. **Substrato – Fibra de coco**. 2013. Disponível em: <https://cohibra.com.br/substratos-2-fibra-de-coco/>. Acesso em: 05 out. 2022.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Programa Brasileiro de Modernização do Mercado Hortigranjeiro (Prohort)**. Disponível em: <http://dw.ceasa.gov.br/>. Acesso em: 02 out. 2022.
- CORRADINI, E.; ROSA, M.; MACEDO, B.; PALADIN, P.; MATTOSO, L. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 837 – 846, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/DQdC9ZVzgsndcvBjvGM4tNb/?lang=pt>. Acesso em: 05 out. 2022.
- CORREIA, M. **Árvore do conhecimento: coco**. AGEITEC EMBRAPA, Aracajú, 2012. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/coco/arvore/CONT000giw3qz5o02wx5ok05vadr1u5iye30.html>. Acesso em: 07 out. 2022.
- CUNHA, P. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na Construção Civil**. Orientador: Uilame Gomes, 2012. 120 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil. Faculdade de Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12847>. Acesso em: 20 set. 2022.
- DAMASCENO FILHO, F. **Utilização da fibra de coco como proposta de substituição de cimento em tijolos ecológicos de solo-cimento: uma análise físico-mecânica**. Orientador: Diúlio Araújo, 2018. 79 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Faculdade de Educação. Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/4931>. Acesso em: 18 set. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) **Crops and livestock products**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>. Acesso em: 02 out. 2022.

GREEN BUILDING COUNCIL BRAZIL. (Conselho de Construção Verde Brasil) **7 vantagens dos prédios verdes para a sociedade e meio ambiente**. 2021. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/7-vantagens-dos-predios-verdes-para-a-sociedade-e-meio-ambiente/>. Acesso em: 26 set. 2022.

GIRALDELLI, M.; PEREIRA, O.; SANTOS, S.; BRASIL, M.; PINHEIRO, S., 2020. Propriedade da Fibra de Coco: Uma Revisão Sistemática. **UNICIÊNCIAS**, Cuiabá, v. 24, n. 1, p. 34- 38, 2020. Disponível em: <https://seer.pgskroton.com/index.php/uniciencias/article/view/8920>. Acesso em: 10 out. 2022.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. Coqueiro: folheto explicativo. 2017. Disponível em: <http://www.ipa.br/resp42.php>. Acesso em: 29 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. IBGE/LSPA. Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Dezembro. Série 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, outubro de 2021. Documento impresso.

LIMA, U. **Uso da fibra do resíduo de coco verde na produção de tijolos ecológicos**. Orientador: Ronaldo Silva, 2020. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Gestão Ambiental. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/107>. Acesso em: 22 set. 2022.

MARTINS, C. JESUS JÚNIOR, L. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional**: panorama 2010. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa>. Acesso em: 02 out. 2022.

MARTINS, C.; JESUS JÚNIOR, L. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional**: panorama 2014. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 02 out. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21 Brasileira**. 2019. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira.html>. Acesso em: 28 set. 2022.

MOTTA, J; MORAIS, P; ROCHA, G; TAVARES, J; GONÇALVES, G; CHAGAS, M; MAGESTE, J; LUCAS, T. **Tijolo de solo cimento: análises das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Exacta, Belo Horizonte, 2014. v. 7, n. 1, p.13-26. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038>. Acesso em: 23 nov. 2022.

NASCIMENTO, C. **Estudo da fibra de coco como reforço em tijolo de solocimento**. Orientador: José Mendes, 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica. Faculdade de Educação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15675>. Acesso em: 15 set. 2022.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P. S.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero – americana. PROTERRA, 2005.

NEVES, M; CARNEIRO, A; COSTA, D. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA, Caixa Econômica Federal, 2001. p. 228-261.

NUNES, M. **Fibra de coco na Indústria**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pos-producao/coprodutos/casca-fibras-e-po-/fibra-de-coco-na-industria>. Acesso em: 05 out. 2022.

PASSOS, Paulo Roberto de Assis. **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde**: obtenção de telhas e chapas de partículas. 2005. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: [http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Paulo\\_Roberto\\_de\\_Assis\\_Passos.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/doutorado/Paulo_Roberto_de_Assis_Passos.pdf). Acesso em: 09 out. 2022.

SANTOS, H; JACOMINE, P; ANJOS, L; OLIVEIRA, V; LUMBRERAS, J; COELHO, M; ALMEIDA, J; ARAÚJO FILHO, J; OLIVEIRA, J; CUNHA, T. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5 ed. Embrapa Solos, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 11 out. 2022.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **O cultivo e o mercado de coco verde**. 2016. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde,3aba9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 01 out. 2022.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Panorama do setor de Construção Civil**. SEBRAE, 2020. Disponível em: <https://www.sebrae-sc.com.br/observatorio/infografico/panorama-do-setor-de-construcao-civil>. Acesso em: 26 set. 2022.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Ideias de Negócios: fabrica de tijolos ecológicos**. SEBRAE. 26 p. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-tijolos-ecologicos,ce387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD#apresentacao-de-negocio>. Acesso em: 18 nov. 2022.

VICTOR, J. Cimento Portland: composição, definição e propriedades. **Guia da Engenharia**, 2020. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/composicao-cimento-portland/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

UNIÃO NACIONAL DOS LEGISLADORES E LEGISLATIVOS ESTADUAIS. **O que é e quais os benefícios da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. UNALE, 2022. Disponível em: <https://unale.org.br/o-que-e-e-quais-os-beneficios-da-politica-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 27 set. 2022.