



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ADRIANA BARBOSA FERNANDES  
MARCUS VINÍCIUS TERTULIANO RODRIGUES  
MENDONÇA**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE  
TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE  
COCO**

**PUBLICAÇÃO Nº: 04**

**GOIANÉSIA / GO  
2022**



**ADRIANA BARBOSA FERNANDES  
MARCUS VINÍCIUS TERTULIANO RODRIGUES  
MENDONÇA**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE  
TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE  
COCO**

**PUBLICAÇÃO N°: 04**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: Me. IGOR CEZAR SILVA BRAGA**

**GOIANÉSIA / GO: 2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA

FERNANDES, ADRIANA BARBOSA; MENDONÇA MARCUS VINICIUS TERTULIANO RODRIGUES.

Fabricação e caracterização mecânica de tijolos solo-cimento com adição de fibras de coco 2022 xix, 76P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2022).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- |                 |   |
|-----------------|---|
| 1. Tijolo       | 2. Fibra de coco  |
| 3. Solo-cimento | 4. Sustentável  |
| I. ENC/FACEG    | II. Fabricação e caracterização mecânica de tijolos solo-cimento com adição de fibras de coco |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERNANDES, A. B.; MENDONÇA, M. V. T. R. Fabricação e caracterização mecânica de tijolos solo-cimento com adição de fibras de coco. TCC, Publicação 04 2022/1 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 76p. 2022.

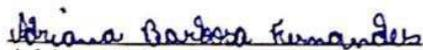
## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Adriana Barbosa Fernandes e Marcus Vinícius Tertuliano Rodrigues Mendonça.

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Fabricação e caracterização mecânica de tijolos solo-cimento com adição de fibras de coco.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2022

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

  
Adriana Barbosa Fernandes  
Afernandes3411@gmail.com  
76385-131 - Goianésia/GO - Brasil

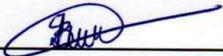
  
Marcus Vinícius T. R. Mendonça  
Marvin.tertuliano@hotmail.com  
76390-000 - Barro Alto/GO - Brasil

**ADRIANA BARBOSA FERNANDES  
MARCUS VINÍCIUS TERTULIANO RODRIGUES  
MENDONÇA**

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE  
TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE FIBRAS  
DE COCO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**IGOR CEZAR SILVA BRAGA, Mestre (FACEG)  
(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**ROBSON DE OLIVEIRA FELIX, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 06 de JUNHO de 22.**

*Dedico este trabalho:  
aos meus pais, Deoclecio e Sandra;  
as minhas irmãs, Polyana e Sara;  
aos meus avós Maria e Francisco.*

*Adriana Fernandes*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por ter me dado vida, saúde, sabedoria, e pelas oportunidades que me concedeu. Em vários momentos pensei desistir, mas Deus me capacitou e acalmou meu coração me dando força para continuar nessa jornada até o fim.

Agradeço a minha Mãe Sandra, por acreditar em mim e me dar todo apoio; ao meu Pai Deoclecio que esteve sempre presente durante essa caminhada; minhas irmãs Sara e Polyana que sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida.

Agradeço as minhas amigas de graduação que foi minha segunda família, Kássia Policarpo, Artemisia Araújo, Thauany Furriel e minha irmã Polyana Barbosa, com vocês que dividi meus sorrisos, angústias e tensão, com vocês eu compartilhei momentos e experiências. Vocês marcaram esse período da minha vida com boas lembranças.

Agradeço ao meu orientador e professor Me. Igor Cezar Silva Braga, pelos inúmeros conselhos, pela paciência e por me acalmar nos momentos de ansiedade, mas acima de tudo, obrigada por acreditar nesse trabalho e fazer com que ele fosse possível.

Ao professor Eduardo Toledo pela disposição em ajudar, pela amizade e conselhos. A todos os professores do curso, em especial Robson Félix, Vilson Dalla, que contribuíram para a minha formação, vocês são exemplos de profissionais, que levarei por toda a minha vida.

Aos meus amigos de graduação, Adeyler, Wewerthon, Jéssica, Naiara, Nery e Lucas.

Agradeço a Verônica e Natália, por estar sempre comigo nos momentos bons e ruins, em especial a Verônica por ter dedicado seu tempo a me ouvir e aconselhar.

Ao Idney que foi o que mais me ouviu reclamar e que mesmo eu estando insuportável se mostrou disposto a me ouvir e me ajudar.

E por fim agradeço a meu parceiro de TCC Marcus, por ter entrado nesse desafio comigo e por me ajudar a chegar até aqui.

Adriana Fernandes

*Dedico este trabalho:  
aos meus pais, Wagner e Adriana;  
a minha irmã, Camilly;  
aos meus avós Iraci e Pedro.*

*Marcus Vinícius*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida, pela minha saúde, e por ter me dado força para seguir minha vida, e conseguir realizar essa conquista.

Agradecer toda minha família por todo o apoio que foi me dado, por sempre me incentivarem a continuar mesmo cansado de tudo.

Agradecer a todas as amigas que a graduação me trouxe, fora amigas que vieram para somar, pois com as amigas pude aprender muito, e sempre apoiamos um ao outro.

Agradeço a todos os professores pelos ensinamentos, principalmente ao Igor que é meu orientador, sem ele nada disso teria acontecido.

Agradeço a Adriana por está comigo nesse último desafio da faculdade, você merece todo o sucesso, obrigado pela grande ajuda, que nos permitiu chegar até aqui.

Marcus Vinícius

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos”*  
***Provérbios 16:3***

## RESUMO

Diante da busca por materiais que proporcionam menos impacto na natureza e que permitam o progresso da construção civil de forma sustentável, torna-se indispensável à utilização de materiais provenientes de fontes renováveis, que apresentam resistência adequada, alta capacidade de reciclagem e custo de produção relativamente baixo. Nesse sentido, a produção de tijolos de solo-cimento com diferentes adições, principalmente de materiais que seriam descartados, mostra-se uma alternativa atraente para a redução de impactos causados pelo setor. O Brasil é o quinto produtor de coco do mundo, e essa produção acarreta grande geração de resíduos que na maioria das vezes são descartados de modo incorreto. Com isto, a presente pesquisa tem como objetivo a fabricação e verificação da resistência mecânica de tijolos de solo-cimento com a adição da fibra de coco, de modo que atenda aos critérios da norma NBR 8491 (ABNT, 2012). O solo utilizado no trabalho passou por um processo de caracterização através da realização dos ensaios de análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica real dos grãos e teor de umidade. A adição das fibras à mistura, foram realizadas nas proporções de 0%, 0,25%, 0,50% e 1% em relação a massa. O cimento foi adicionado na proporção de 10% em relação a massa da mistura. Foram produzidos 16 tijolos para cada traço, onde foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Os ensaios foram realizados aos 7 e 28 dias. O resultado de resistência a compressão mostra que o único traço que promoveu ganho na resistência foi o de 1% de fibra, que aumentou 15,53% em comparação ao traço de referência, atendendo assim o valor requerido pela norma. Quanto a absorção de água, o traço de 1% aumentou 13,43% em relação ao traço sem fibra, à medida que se aumentou o teor de fibras na composição, os tijolos apresentaram maior capacidade de absorção, possivelmente devido à alta capacidade hidrofílica das fibras de coco e do aumento do número de vazios nos tijolos fabricados. Após a realização dos ensaios, analisou-se que é necessário que sejam realizados novos estudo para se observar melhor os dados referentes ao comportamento das fibras de coco em relação a mistura de solo-cimento.

**Palavras-chave:** Tijolo; Solo-cimento; Fibra de coco; Sustentável.

## ABSTRACT

Facing the search for materials that provide less impact on nature and that allow the progress of civil construction in a sustainable way, it is essential to use materials from renewable sources, which have an adequate resistance, high recycling capacity and relatively low production costs. Thinking about that, the production of soil-cement bricks with different additions, mainly of materials that would be discarded, is an attractive alternative for reducing the impacts caused by the sector. Brazil is the fifth producer of green coconut in the world, and this production leads to a large amount of waste that is discarded incorrectly most of the time. With this, the present research aims to manufacture and verify the mechanical strength of soil-cement bricks with the addition of coconut fiber, also known as coir, so that it meets the criteria of the NBR 8491 standard (ABNT, 2012). The soil used in the work went through a characterization process through tests of granulometric analysis, liquidity limit, plasticity limit, real specific mass of the grains and moisture content. The addition of fibers to the mixture were carried out in proportions of 0%, 0.25%, 0.50% and 1% in relation to the mass. Cement was added at a rate of 10% in relation to the mass of the mixture. Sixteen bricks were produced for each mixture, where compressive strength and water absorption tests were carried out. The tests were performed at 7 and 28 days. The compressive strength result shows that the only mixture that promoted a gain in strength was 1% fiber, which increased by 15.53% compared to the reference mixture, meeting the value required by the standard. As for water absorption, the 1% mixture increased by 13.43% in relation to the one without the fiber, as the high fiber content in the composition increased, the bricks show greater strength capacity, possibly due to the hydrophilic capacity of the coconut fiber and an increase in the number of voids in the manufactured bricks. After carrying out the tests, it was analyzed that it is necessary to carry out new studies to better observe the data regarding the behavior of coconut fibers in relation to the soil-cement mixture.

**Keywords:** Bricks; Soil-cement; Coconut fiber; Sustainable.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Tipos de tijolos solo-cimento.....	13
<b>Figura 2</b> – Classificação das fibras.....	14
<b>Figura 3</b> – Fruto do coqueiro e seus componentes. ....	16
<b>Figura 4</b> – Local da retirada do solo.....	23
<b>Figura 5</b> – Fibra de coco obtida para a confecção dos tijolos. ....	24
<b>Figura 6</b> – Cimento CII-Z-32. ....	24
<b>Figura 7</b> – Solo destorroado e homogeneizado. ....	25
<b>Figura 8</b> – Conjunto de peneiras: a) (50 mm- 4,8 mm) e b) (1,2 mm - 0,075 mm). ....	26
<b>Figura 9</b> – Curva Granulométrica.....	27
<b>Figura 10</b> – Amostra de solo homogeneizada. ....	28
<b>Figura 11</b> – Aparelho de Casagrande. ....	28
<b>Figura 12</b> – Bola de solo conformada.....	29
<b>Figura 13</b> – Solo em formato cilíndrico conformado sobre a placa de vidro. ....	30
<b>Figura 14</b> – Amostra de solo em cápsulas de alumínio. ....	30
<b>Figura 15</b> – Limite de Liquidez. ....	31
<b>Figura 16</b> – Aplicação de vácuo ao picnômetro. ....	32
<b>Figura 17</b> – Picnômetro com amostra de solo + água. ....	32
<b>Figura 18</b> – Cápsulas para determinação do teor de umidade. ....	33
<b>Figura 19</b> – Ensaio preliminares: a) Verificação das dimensões da prensa e b) Molde com solo.....	35
<b>Figura 20</b> – Prensa manual. ....	36
<b>Figura 21</b> – Mistura dos materiais. ....	37
<b>Figura 22</b> – Teste verificação de umidade: a) Teste 1 (teste do tato) e b) Teste 2 (bolo de mistura solta sobre superfície).....	38
<b>Figura 23</b> – Prensagem dos tijolos.....	38
<b>Figura 24</b> – Tijolos submersos em água. ....	39
<b>Figura 25</b> – Preparação dos tijolos para ensaio de resistência à compressão: a) Serra circular Makita, b) Corte do tijolo ao meio. ....	40
<b>Figura 26</b> – Ensaio de resistência à compressão. ....	40
<b>Figura 27</b> – Capacidade média de absorção de água dos traços.....	42
<b>Figura 28</b> – Valores médios da resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias de cura. ....	44

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Faixa granulométrica dos solos.....	6
<b>Tabela 2</b> – Limites de composição do Cimento Portland (porcentagem de massa). ....	7
<b>Tabela 3</b> – Medidas de projeto dos blocos de concreto vazado.....	12
<b>Tabela 4</b> – Dimensões nominais (mm). ....	13
<b>Tabela 5</b> – Requisitos gerais para o solo utilizado no tijolo de solo-cimento (Adaptado de NBR 10833:2012).....	25
<b>Tabela 6</b> – Classificação HBR.....	34
<b>Tabela 7</b> – Traços para a confecção dos tijolos com fibras. ....	37
<b>Tabela 8</b> – Absorção de água aos 7 dias.....	41
<b>Tabela 9</b> – Absorção de água aos 28 dias.....	41
<b>Tabela 10</b> – Resistência à compressão simples aos 7 dias.....	43
<b>Tabela 11</b> – Resistência à compressão simples aos 28 dias.....	44

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> – Modelos de tijolos solo-cimento. ....	9
<b>Quadro 2</b> – Limites de Atteberg. ....	30
<b>Quadro 3</b> – Massa específica dos grãos. ....	33

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM – *American Society for Testing and Materials*.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento.

EUA – Estados Unidos da América.

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia.

HRB – *Highway Research Board*.

IPT – Instituto de Pesquisa Técnicas.

NBR – Norma Brasileira de Regulamentação.

PCA – Portland Cement Association.

SANEAGO – Saneamento de Goiás.

IP – Índice de plasticidade.

LL – Limite de liquidez.

LP – Limite de plasticidade.

SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos.

**LISTA DE SÍMBOLOS**

$A$  – Absorção de água (%);

$\rho_s$  – Massa específica dos grãos ( $\text{g/cm}^3$ );

$\rho_w$  – Massa específica da água, á temperatura T de ensaio, obtida na Tabela A.1. ( $\text{g/cm}^3$ );

$M_1$  – Massa do corpo de prova seco do Tijolo (g);

$M_2$  – Massa do corpo de prova saturado (g).

$M_1$  – Massa do picnômetro + solo + água (g);

$M_2$  – Massa do picnômetro + água (g).

$M_1$  – Massa do solo úmido mais a massa do recipiente(g);

$M_2$  – Massa do solo seco mais a massa do recipiente (g);

$M_3$  – Massa do recipiente com a tampa (g);

$M_u$  – Massa úmida do material submetido ao peneiramento fino (g);

$M_r$  – Massa do material retido acumulado em cada peneira (g);

$M_s$  – Massa total seca da amostra (g);

$M_t$  – Massa da amostra seca ao ar (g);

$M_g$  – Massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm (g);

$Q_g$  – Porcentagem do material passado em cada peneira (%);

$Q_f$  – Porcentagem do material passado em cada peneira (%);

$N$  – Porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm (%);

$w$  – Teor de umidade (%);

$W$  – Umidade higroscópica do material (%).

cm – Centímetro.

mm – Milímetro

MPa – Mega Pascal.

kgf – Quilograma força.

kg – Quilograma.

g – Grama.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	2
1.2 OBJETIVOS .....	3
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	3
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 TIJOLO ECOLÓGICO.....	4
<b>2.1.1 Histórico.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 Materiais componentes do tijolo solo-cimento .....</b>	<b>5</b>
2.1.2.1 Solo.....	5
2.1.2.2 Cimento .....	6
2.1.2.3 Água.....	8
<b>2.1.3 Fabricação dos tijolos .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4 Vantagens e desvantagens .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.5 Normas Técnicas Brasileira .....</b>	<b>10</b>
2.2 TIPOS DE TIJOLOS .....	11
<b>2.2.1 Tijolo cerâmico.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.2 Bloco de concreto .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.3 Tijolo solo-cimento.....</b>	<b>12</b>
2.3 FIBRAS NATURAIS COMO REFORÇO.....	13
2.4 FIBRAS DE COCO.....	16
<b>2.4.1 Coco .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Processo de extração das fibras .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.3 Vantagens e desvantagens das fibras de coco.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.4 Aplicação das fibras.....</b>	<b>18</b>
2.5 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	18

2.5.1 Umidade higroscópica .....	18
2.5.2 Análise granulométrica .....	19
2.5.3 Limites de Atterberg.....	20
2.5.4 Massa específica .....	21
2.5.5 Classificação <i>Highway Research Board</i> ou <i>Association State Highway Officials</i> .	21
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 MATERIAIS .....	23
<b>3.1.1 Solo .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.2 Fibras de coco.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.3 Cimento.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.4 Água .....</b>	<b>25</b>
3.2 MÉTODOS.....	25
<b>3.2.1 Caracterização física do solo.....</b>	<b>25</b>
3.2.1.1 Determinação da análise granulométrica.....	26
3.2.1.2 Determinação dos limites de Atterberg .....	27
3.2.1.2.1 Determinação do limite de liquidez.....	27
3.2.1.2.2 Determinação do limite de plasticidade .....	29
3.2.1.3 Determinação da massa específica dos grãos .....	31
3.2.1.3 Ensaio de umidade higroscópica .....	33
3.2.1.4 Classificação <i>Highway Board (HRB)</i> .....	34
<b>3.2.2 Determinação das misturas de solo-cimento com adição de fibra de coco .....</b>	<b>34</b>
3.2.2.1 Traço.....	34
3.2.2.2 Definição das dosagens .....	34
3.2.2.3 Quantidade do solo .....	35
3.2.2.4 Escolha do traço.....	36
<b>3.2.3 Confeção dos tijolos .....</b>	<b>36</b>
3.2.3.1 Preparação do solo.....	36
3.2.3.2 Cura das amostras.....	38
3.2.3.3 Ensaio de absorção de água .....	39
3.2.3.4 Ensaio de compressão simples .....	39
<b>3.2.4 Análise dos Resultados .....</b>	<b>40</b>

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
4.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	41
4.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES.....	43
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>46</b>
5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	46
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Essencial para atender as necessidades básicas da sociedade, a construção civil é responsável por proporcionar abrigo, conforto e qualidade de vida às pessoas. Sendo um dos maiores consumidores de matéria-prima do planeta, além disso, é um setor em crescimento exponencial globalmente, crescimento esse que contribui para a economia do país, gerando uma grande quantidade de empregos. No entanto, é também um dos grandes vilões quando se trata da geração de resíduos sólidos, do consumo de recursos naturais e da emissão de gases de efeito estufa.

Nesse contexto, diversos estudos estão sendo realizados para investigar o reaproveitamento de materiais descartados em múltiplas cadeias de produção e consumo. De modo a reduzir os impactos causados pela construção civil. Marjaba e Chidiac (2016), destacam o emprego de métodos e materiais de construção alternativos além da redução dos resíduos da construção por meio da modulação de componentes e reciclagem. Os tijolos de solo-cimento se encaixam como um material alternativo de baixo impacto ambiental, uma vez que não passam pelo processo de queima na sua fabricação, outra vantagem do material é permitir que adições sejam realizadas em sua matriz, o que pode ser feito por intermédio de fibras e até mesmo de resíduos diversos visando conferir ganho de resistência aos blocos.

Entre as tecnologias utilizadas nas construções sustentáveis emergentes, os tijolos de solo-cimento têm se mostrado muito úteis neste sentido. Isso porque são provenientes de três materiais básicos: solo, cimento e água, sendo fabricados por prensagem manual ou hidráulica (DIAS *et al.*, 2019). O tijolo solo-cimento é considerado uma alternativa para substituir ou reduzir o uso dos tijolos cerâmicos convencionais e já está inserido no mercado, sendo assim uma alternativa para construção de habitações populares. Tendo como principal componente o solo, é essencial dispor de um solo com características indicadas à fabricação dos tijolos. No entanto, quando não se dispõe do material ideal, deve-se considerar a possibilidade correção do solo, de modo a garantir um produto final de qualidade e com custo acessível (SOUZA *et al.*, 2008). A técnica ecologicamente correta na construção de habitações populares tem sido incentivada através do desenvolvimento de pesquisas na área por instituições de ensino públicas e privadas e ainda pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). No estudo dos tijolos de solo-cimento, considera-se a inserção de resíduos em sua composição visando algum dos seguintes aspectos: correção do solo; reforço da matriz, o que é geralmente feito por intermédio de fibras; ou ainda a melhoria nas propriedades mecânicas do produto final com a substituição parcial de algum dos componentes (cimento ou solo).

É importante salientar que apesar de muitos experimentos terem sido bem-sucedidos, esses materiais compósitos desenvolvidos precisam ser efetivamente empregados. Segundo Dias *et al.* (2019), a crescente demanda por produção e manutenção do ambiente construído somado ao crescimento populacional, indica que a degradação do meio ambiente pelo setor tende a ser agravada caso a sustentabilidade não passe a ser um fator preponderante.

Segundo Martins e Júnior (2014), o aumento da produção de coco em muitas partes do mundo vem aumentando intensificadamente. No Brasil o crescimento está relacionado a expansão da área cultivada, tornando assim o país um dos maiores produtores de coco do mundo. Sergipe é o segundo maior estado produtor de coco do Brasil, com a Bahia em primeiro lugar.

Os cocos produzidos no Brasil, depois de utilizados, não são descartados de modo correto por não possuírem local adequado, muitas vezes são descartados em aterros ou lixões, de forma que essa situação se torna preocupante, visto que resíduos levam cerca de dez anos para se decompor (SOUZA *et.al*, 2008). Segundo relatórios da Agência Embrapa de Informações Tecnológicas - Embrapa, no ano de 2014, o Nordeste produziu 729 mil toneladas de resíduos em forma de casca de coco.

Diante do exposto, este projeto prevê a fabricação de tijolos de solo-cimento com a adição de fibra de coco. Ao utilizar a fibra de coco como matéria-prima para a produção de tijolos de solo-cimento, contribui-se para o desenvolvimento sustentável e evita-se o desperdício de recursos ambientais no uso em larga escala, impactando negativamente na qualidade de vida das gerações futuras.

A pesquisa em questão visa alternativas simples que atendam aos aspectos ambientais e sociais, com materiais relativamente baratos, já que a ideia é utilizar tijolos modulares de terra cimentícia com incremento de resíduo de fibra de coco. Realizar uma análise de combinação cimento e solo para identificar novos materiais a serem introduzidos na produção de tijolos ecológicos e analisar a viabilidade por meio de testes que demonstrem um desempenho mecânico aceitável de utilização dos tijolos solo-cimento com adição de resíduo da fibra de coco.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Na busca pelo desenvolvimento de construções sustentáveis, torna-se indispensável a produção e uso de materiais biodegradáveis ou provenientes de fontes renováveis, que apresentam resistência adequada, alta capacidade de reciclagem e custo de produção relativamente baixo (LEITE; NETO, 2014). Nesse sentido, viabilizar um material que não passa pelo processo de queima, como os tijolos convencionais, e ainda utiliza como principal matéria-

prima o solo, material abundante no planeta, com adições de resíduos, material que teria como destino a natureza, mostra-se como uma alternativa para redução de impactos causados pela Engenharia Civil. Como mencionado anteriormente, a utilização de tijolos de solo-cimento ou tijolos ecológicos é uma solução ambiental e sustentável, pois é possível adicionar diferentes tipos de resíduos no traço, como a fibra de coco.

Uma das vantagens da fibra de coco é sua ampla disponibilidade em todo território brasileiro e suas propriedades adequadas para a fabricação de uma variedade de produtos com baixo custo e sem exigências elevadas (NASCIMENTO, 2011). Devido às muitas vantagens do uso de tijolos de solo-cimento, principalmente na área ambiental, é fundamental estudar suas características, aplicação, comparação, etc., visando ampliar sua utilização nas construções.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar a utilização do resíduo de fibras de coco na fabricação de tijolo de solo-cimento, visando uma solução alternativa na solução de tijolo de solo-cimento e uma destinação adequada do resíduo.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o solo extraído para a fabricação do tijolo Solo-Cimento;
- Determinar o teor de cimento adequado para estabilizar o solo na produção de tijolos;
- Determinar o melhor teor de fibras de coco, a fim de se obter melhores propriedades mecânicas dos tijolos solo-cimento;
- Verificar a resistência a compressão e absorção de água nos tijolos após a adição das fibras de coco.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado em cinco capítulos. No Capítulo 1 é redigida a introdução onde se contextualiza o tema abordado, apresenta a justificativa e os objetivos gerais e seus desenvolvimentos específicos. No Capítulo 2, é apresentado referencial teórico a cerca do tema. No Capítulo 3, são descritas as etapas e os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa e aquisição dos ensaios. No Capítulo 4, apresenta-se e discute-se os resultados obtidos por meio dos ensaios laboratoriais. No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e considerações finais para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TIJOLO ECOLÓGICO

#### 2.1.1 Histórico

Abiko (1988), afirma que, em 1915, o engenheiro Bert Reno utilizou solo-cimento pela primeira vez na Flórida (EUA), utilizando materiais obtidos por meio da mistura de conchas marinhas, cimento Portland e areia da praia, para pavimentar uma determinada rua de uma respectiva cidade visando alcançar propriedades tecnológicas aprimoradas e baixo valor econômico. No entanto, devido à falta de parâmetros e tecnologia neste momento, a experiência tornou-se inválida, devido à baixa qualidade dos materiais resultantes, mas foi somente em 1935 que a *Portland Cement Association* (PCA) começou a realizar pesquisas intensas sobre a mistura de tais materiais.

Em 1944, a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) criou diversos métodos de ensaios internacionais normatizados, seguida de outras entidades, como por exemplo, a *American Association of State Highway Officials* (AASHO), *Highway Research Board* (HRB) e o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2007). Diante desses resultados, outros estados passaram a adotar o solo-cimento como componente construtivo de pavimento rodoviário, o que gerou um aumento no número de estudos voltados ao projeto, melhorando sua qualidade e controle técnico (LIMA, 2010).

Desde a década de 1970, o solo-cimento passou a ser objeto de pesquisa de diversas instituições, como Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (ABIKO, 1988). Em 1940, por iniciativa da (ABCP), o Brasil fez a primeira aplicação de solo-cimento de uma pequena área do aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro. Cerca de um ano depois, em 1941, foi feita a pavimentação total do aeroporto de Petrolina-PE. Em 1948, foram construídas duas casas no vale Florido, na sede da Fazenda Inglesa, em Petrópolis – RJ (BARBOSA, 2003).

Em 1953, o Hospital Geral Adriano Jorge de Manaus (AM), foi construído apenas por paredes monolíticas de solo-cimento (CABALA, 2007). Rocha (1996), relata que a principal aplicação de solo-cimento tem sido no campo da pavimentação dos aeroportos, mas também tem sido usado em reservatórios, valas de drenagem, fundações de edifícios, muros de arrimo,

barragens de terra, revestimento de canais, diques e, finalmente, alvenaria de blocos e tijolos prensados para construção de casas.

O uso de blocos de solo-cimento na construção de moradias no Brasil ocorreu em 1948, com a construção de casas no Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis - RJ (HABITARE, 2013). O Banco Nacional da Habitação (BNH), em 1978 incentivou o uso de tijolos solo-cimento na construção de moradias populares. Esse processo foi possível graças aos estudos feitos pelo Instituto de Pesquisas Técnicas (IPT), e pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED), que comprovaram boas qualidades e vantagens do uso desse material (FERRAZ, SEGANTINI, 2004).

## **2.1.2 Materiais componentes do tijolo solo-cimento**

### **2.1.2.1 Solo**

De modo geral, quando misturado ao cimento e submetido a um processo de compactação, as propriedades mecânicas do solo evidenciam melhorias. No entanto, existem limitações no uso de determinados solos, geralmente relacionadas à trabalhabilidade e aplicações de cimento. O limite de consistência LL (limite de liquidez) e LP (limite de plasticidade), são variáveis e especificam as condições de trabalhabilidade.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2004), destaca que o solo mais recomendado em termos de sua composição é o solo com teor de areia de 45% a 50% na sua formação, mas todos os solos podem ser utilizados, exceto, os solos compostos por matéria orgânica (RIBEIRO, 2013).

Quando o solo não se enquadra nesta faixa, pode-se fazer uma correção granulométrica. Por exemplo, se o solo é muito argiloso, com limite de liquidez e índice de plasticidade altos, é comum misturá-lo com areia (BARBOSA, 2003).

A Portland Cement Association (PCA, 1969), considera proporção ideal que deve ser usada varia entre 65 e 90% de areia e 10 a 45% de argila e silte. Quanto à granulometria, considera que o solo mais adequado é o arenoso. O solo é formado por várias faixas granulométricas e essa composição é empregue quando se faz referência as frações ou partículas do solo como um todo, incluindo desde as mais finas como as argilas, até as mais grosseiras como os pedregulhos (LIMA, 2020). A NBR 6502 – Rochas e Solos (ABNT, 1995) especifica a fração das partículas e seus diâmetros, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1** – Faixa granulométrica dos solos.

<b>Fração</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>
Pedregulho	60 - 2
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: Lima (2020), (adaptado).

Para Pinto (1980), o solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, pois requer baixo consumo de cimento. O solo é o maior componente da mistura, e deve ser escolhido de forma a utilizar o mínimo de cimento possível (MACÊDO, 2004).

De acordo com o boletim técnico BT-111 (2000) da ABCP e a NBR 10833 (ABNT, 2012), para uma fabricação eficiente dos tijolos os solos devem atender as seguintes exigências necessárias:

Passando na peneira ABNT 4,75 mm (N°4) .....	100%
Passando na peneira ABNT 0,075 mm (N°200) .....	10 a 50%
Limite de liquidez.....	≤ 45%
Índice de plasticidade.....	≤18%

#### 2.1.2.2 Cimento

O cimento é obtido pela moagem de clínquer, que é o resultado da mistura de calcário, argila e minério de ferro em um processo denominado clinquerização, e adição de gesso para controlar o tempo de hidratação do material, incluindo outras substâncias que irá caracterizá-lo de acordo com seu tipo (GRANDE, 2003). Vieira (2010), define o cimento ou aglomerante hidráulico como um material inorgânico finamente moído que, ao ser misturado à água, passa por reações e processo de hidratação, formando uma pasta densa e endurecida, mantendo a resistência após o endurecimento e estabilidade, mesmo se submerso em água. Segundo Oliveira (2011), existem duas categorias de materiais formados pela adição de cimento ao solo, nomeadamente, solo beneficiado com cimento e solo cimentício. A diferença nessas categorias é o teor de cimento adicionado, que varia de 2% a 4% e 6% a 10%, respectivamente. Ainda de

acordo com Oliveira (2011), o objetivo do cimento é dar condições para que o solo reduza sua deformação plástica, distribuição granulométrica do material a ser formado, bem como um enrijecimento cuja aplicabilidade em cada caso será avaliada, assim como o aspecto econômico

Para Lima (2010), a natureza do cimento e sua composição diferenciada podem levar a comportamentos específicos nas misturas solo-cimento, concreto e argamassa, por isso deve ser analisada para produzir melhor desempenho desses materiais, o que pode interferir, por exemplo, no que se refere à fissuração por retração. De acordo com Grande (2003), quando a umidade é aumentada ou diminuída, a adição de cimento ao solo causará estabilidade de volume do material, o material não se deteriorará ao ser imerso em água, aumentará sua resistência à compressão e aumentará sua durabilidade.

Vieira *et al.* (2007), apontam que o tipo de cimento Portland mais adequado para a produção de tijolos de solo-cimento é o CP II-Z, pois sua composição contém 6% a 14% de Pozolana que garante maior impermeabilidade e durabilidade, e seu desempenho varia de estruturas de concreto armado a argamassa de assentamento e revestimento e é adequado para este material, pois o aumento da resistência deve ser controlado para evitar a redução. Lima (2010), ressalta que o cimento Portland, CP II-F-32 que tem como característica uma secagem rápida, apresenta propriedades químicas, físicas e mecânicas mais compatíveis para a produção de tijolos modulares de solo-cimento.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP (2000) os cinco tipos de cimento Portland a serem utilizados para a fabricação do solo-cimento deve atender as especificações presentes na Tabela 2, que apresenta a resistência e a sua composição dos tipos de cimento Portland.

**Tabela 2** – Limites de composição do Cimento Portland (porcentagem de massa).

TIPO DE CIMENTO PORTLAND	CLASSE DE RESISTÊNCIA (MPa)	COMPOSIÇÃO (%)			
		Clínquer +sulfatos de cálcio	Escória de alto forno	Material Pozolânico	Material Carbonáticos
CP I	25 - 32 - 40	95 - 100		0 - 5	
CP I - S	25 - 32 - 40	90 - 94	0	0	6 - 10
CP II - E	25 - 32 - 40	51 - 94	6 a 34	0	0 - 15
CP II - Z	25 - 32 - 40	71 - 94	0	6 a 14	0 - 15
CP II - F	25 - 32 - 40	75 - 89	0	0	11 - 25
CP III	25 - 32 - 40	25 - 65	37 - 75	0	0 a 10
CP IV	25 - 32 - 40	45 a 85	0	15 - 50	0 - 10
CP V - ARI	-	95 a 100	0	0	0 - 10

Fonte: Nova Norma NBR 16697 (ABNT, 2018).

### 2.1.2.3 Água

Segundo a NBR 15900-1 (ABNT, 2009), a água deve estar isenta de impurezas prejudiciais à hidratação do cimento; consideradas adequadas para a produção a água potável.

### 2.1.3 Fabricação dos tijolos

O processo de produção do tijolo consiste nas seguintes etapas:

- Preparo do solo: o solo coletado contendo baixa umidade é retirado da jazida e transportado para um depósito para ser seco ao ar. O solo é destorado, depois peneirado e passado por uma peneira nº 4 de malha 4,75 mm para remover os resíduos (ABCP, 2000);
- Preparo da mistura: o cimento é misturado ao solo preparado e os materiais são homogeneizados até a obtenção de uma cor uniforme; a seguir, adiciona-se água gradativamente, misturando os materiais, até atingir o teor de umidade ideal (ABCP, 2000);
- Fabricação do tijolo: o material misturado é transferido para o molde onde ocorre a prensagem. A prensagem pode ser feita manualmente ou com prensa hidráulica. São retirados os tijolos e empilhados, à sombra, sobre uma superfície plana e lisa (ABCP, 2000);
- Cura e armazenamento: após 6 horas depois de prensados, os tijolos devem ser mantidos úmidos por meio de molhagens sucessivas durante um período de sete dias para assim garantir a cura necessária (ABCP, 2000; BETSUYAKU, 2015). Segundo Bauer (1995) a cura deve ser feita com as peças separadas, colocadas em um plano horizontal, abrigada da chuva e do sol.

Betsuyaku (2015) especifica que para atingir o resultado desejado, recomenda-se cobrir o material com uma lona após a adição de água, para evitar a perda de componentes e assim prejudicar a durabilidade do material (garantindo uma cura adequada). O material só deve ser utilizado após 14 dias da data de fabricação NBR 10833 (ABNT, 2012). Para o transporte e armazenamento, recomenda-se o uso de *pallets*.

No Brasil são produzidos diversos modelos de tijolo solo-cimento, dos quais são selecionados de acordo com a necessidade do projeto. O Quadro 2 ilustra os modelos mais utilizados:

**Quadro 1** – Modelos de tijolos solo-cimento.

<b>TIPO</b>	<b>DIMENSÕES</b>	<b>USO</b>	<b>EXEMPLO</b>
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 branca 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.	
Canaletas	5 x 10 x 20) cm (7 x 12,5 x 25) cm (7,5 x 15 x 30) cm	Alvenaria semelhante ao tijolo convencional	

Fonte: Lima (2010), (adaptado).

Além dos principais elementos dos materiais de construção, está sendo explorada a possibilidade de agregar outras matérias-primas, tais como: RCC, borracha, vidro, fibra de sisal, fibra de coco, etc., visando obter um material de melhor desempenho e de maior redução de impactos ambientais (SANTOS, 2018).

No entanto, a combinação dos aditivos acima mencionados somente é possível quando não houver modificação dos requisitos físicos e mecânicos especificados nas normas (NBR 8491; 10834; 10833, 2012).

#### 2.1.4 Vantagens e desvantagens

A ABCP (2000), salienta que a utilização do tijolo modular de solo-cimento traz inúmeros benefícios para a construção civil, que vão além daquelas relacionadas ao processo de fabricação dos blocos, algumas delas são:

- Pode usar o solo do próprio canteiro de obras (ou da área), reduzindo ou até eliminando custos de transporte;
- O processo de cura deste produto depende apenas de água e sombra, não precisa passar pelo processo de combustão do fogão a lenha (exigido pelos tijolos comuns);
- Mão de obra não especializada para fabricação e utilização;
- Os tijolos possuem regularidade em suas formas, são planos e lisos, o que permite que uma espessura menor de argamassa de assentamento seja aplicada;
- Se protegidos da ação direta da água, dispensam revestimento uma vez que possuem um bom acabamento;
- Execução simples de alvenaria, pois os tijolos são de encaixe;
- Sua resistência à compressão simples e semelhante à dos revestimentos cerâmicos;
- Além de proporcionar conforto termoacústico, seus furos também formam condutores para redes hidráulicas e elétricas, evitando rompimento de paredes, podendo ser embutidos de forma fácil e rápida em colunas de sustentação.

“Outra vantagem é que se o tijolo quebrar, pode ser reaproveitado, basta triturar e reconstruir” (PORTAL EDUCAÇÃO, 2017). Embora o tijolo tenha muitas vantagens, também tem algumas desvantagens. E coisas às quais deve-se prestar atenção. De acordo com Motta *et al.* (2014), se o solo for tratado indiscriminadamente, pode ser benéfico ao processo de erosão do meio ambiente. Além disso, se a dosagem estiver errada, também causará patologias na construção. Ribeiro (2013), também comentou que devido à presença de húmus, substâncias nocivas, cloretos e sulfatos, os tijolos de solo-cimento não devem ser produzidos em locais muito úmidos, inviabilizando o uso do solo e fazendo com que os tijolos sejam submetidos a análise no laboratório, o que torna o processo mais caro.

#### 2.1.5 Normas Técnicas Brasileira

Os tijolos de solo-cimento são regulamentados pela ABNT-Associação Brasileira de Normas e Tecnologia. As seguintes normas serão utilizadas para realizar trabalhos relacionados à produção de tijolos ecológicos e analisar suas principais características técnicas.

NBR 8491 – Tijolo de solo-cimento — Requisitos: esta norma especifica os requisitos para recebimento de tijolos de solo-cimento aplicáveis aos tijolos de alvenaria sem função estrutural em obras de construção civil (ABNT, 2012).

NBR 8492 – Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água- Método de ensaio.: esta norma estabelece o método para análise dimensional, resistência à compressão e a absorção de água em tijolos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural (ABNT, 2012).

NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica: esta norma especifica os requisitos para fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento em prensas manuais ou hidráulicas (ABNT, 2012).

NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: esta norma especifica os requisitos para o recebimento de blocos de solo-cimento, para a construção em alvenaria sem função estrutural (ABNT, 2013).

NBR 10836 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água: esta norma especifica o método para análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água em blocos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural (ABNT, 2013).

## 2.2 TIPOS DE TIJOLOS

Com o avanço tecnológico, o tijolo vem ganhando novas formas, melhorando sua fabricação e buscando novos materiais. Dentre tantos, pode-se destacar o tijolo cerâmico, bloco de concreto e tijolo solo-cimento.

### 2.2.1 Tijolo cerâmico

Segundo (ROSSI, 2017), o tijolo cerâmico foi um dos pioneiros na construção civil, sendo o principal ponto favorável para sua fabricação à abundância em matéria-prima, que são as argilas plásticas. Sua fabricação é baseada na moldagem das argilas e a queima pelo fogo. Oliveira *et al* (1993), a temperatura de queima varia entre 900°C a 1200°C devido ao tipo de argila e do forno.

Segundo (OLIVEIRA, 1993), o tijolo cerâmico tem dimensões reais e nominais, sendo reais a de fabricação (14 x 19 x 39) cm e nominais acrescidas de um centímetro de argamassa (15 x 20 x 40) cm. Mas no mercado a grande variação em suas dimensões. Ainda Oliveira *et al*

(1993), tijolos cerâmicos de furos retangulares apresentam maior resistência que tijolos de furos redondos, que constatou apenas 12% da resistência dos retangulares.

Devido à grande variedade de tijolos cerâmicos no mercado a sua execução foi aprimorada, mas por motivos ecológicos, este vem sendo substituído pelo tijolo solo-cimento, devido a não necessidade de queima, gerando gases que agravam o efeito estufa.

### 2.2.2 Bloco de concreto

Como relata Filho (2007), o bloco de concreto teve início após o surgimento do cimento Portland. Sua composição se baseia em cimento Portland, agregado miúdo e graúdo e água, sendo sua fabricação manual até os anos de 1910, quando foram substituídas por máquinas desenvolvidas nos Estados Unidos, com esse avanço, passando sua fabricação para um processo mecânico, melhorando a densidade, resistência e uniformidade. A norma NBR 5712 (ABNT, 1982), apresenta as dimensões dos tijolos, como apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Medidas de projeto dos blocos de concreto vazado.**

<b>Blocos de altura comum</b>			<b>Blocos de meia altura</b>		
<b>Largura (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>
190	190	90	190	90	90
140	190	90	140	90	90
90	190	90	90	90	90
190	190	190	190	90	190
140	190	190	140	90	190
90	190	190	90	90	190
190	190	390	190	90	390
140	190	390	140	90	390
90	190	390	90	90	390

Fonte: NBR 5712 (ABNT, 1982).

Sala (2006), o bloco de concreto é o mais resistente comparados com os demais tipos, apresentando maior rendimento, devido a rápida execução. Um ponto importante que é levado em consideração, é o baixo desperdício em relação ao tijolo cerâmico. Um ponto negativo seria a perda de conforto térmico, devido a menor utilização de argamassa de assentamento e reboco.

### 2.2.3 Tijolo solo-cimento

Com a alta utilização de recursos naturais, estudos estão sendo realizados para que a construção civil se torne mais sustentável, com isso surgiu o tijolo solo-cimento. Como relata (PISANI, 2006), a busca por arquiteturas mais sustentáveis é incansável, devido aos recursos naturais finitos.

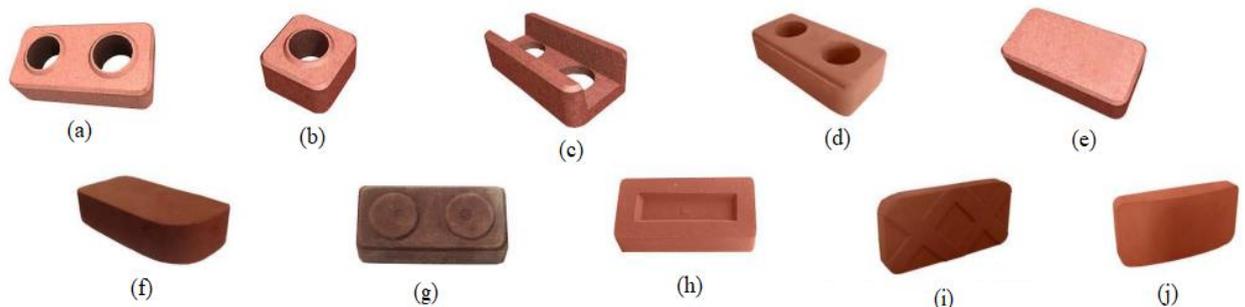
O tijolos solo-cimento possui variedades no mercado, como bloco vazado, meio tijolo, tijolo maciço, canaletas, revestimento e dentre outros (Figura 1). A Tabela 4 demonstra as dimensões dos blocos vazados conforme a NBR 8491(ABNT, 2012).

**Tabela 4** – Dimensões nominais (mm).

<b>Tipos</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Altura</b>
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012).

**Figura 1** – Tipos de tijolos solo-cimento.



(a) Bloco vazado, (b) Meio tijolo, (c) Canaleta, (d) Tijolo modular liso, (e) Paver, (f) Tijolo bico curvo, (g) Tijolo maciço com encaixe, (h) Tijolo maciço convencional, (i) Revestimento, (j) Tijolo tramela. (Fonte: Jarfel, 2017).

### 2.3 FIBRAS NATURAIS COMO REFORÇO

Os tijolos de solo-cimento são aqueles usualmente fabricados e comercializados, onde se utiliza como matérias primas apenas o solo, o cimento e a água. No entanto, já existem pesquisas onde agregados são incorporados à mistura objetivando melhorias referentes às propriedades mecânicas do material.

Um tipo de adição que vem sendo estudada são as fibras. As fibras são um dos materiais de engenharia mais usados extensivamente para melhorar a resistência estrutural de diversos elementos de construção e o seu desempenho sob várias combinações de carga (YANG; DENG; LI, 2019). Além de promover melhorias consideráveis às matrizes em que são inseridas, muitas dessas fibras são consideradas como resíduos e seu reuso possibilita atenuar impactos ambientais.

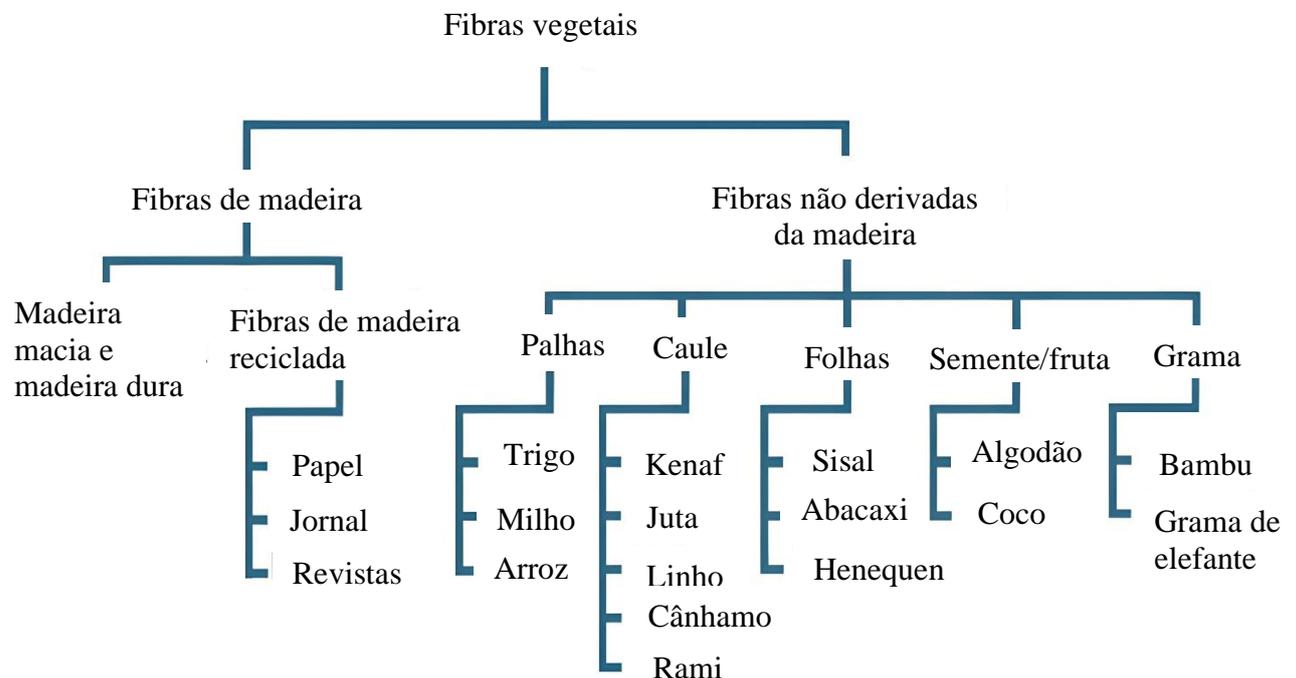
A utilização de resíduos de qualquer origem no processo construtivo reduz não somente a demanda por insumos não renováveis como a pressão ambiental nas áreas destinadas ao descarte. Dessa forma, esses materiais se configuram como uma alternativa em relação a materiais convencionais, que, durante seu processo de fabricação, costumam causar impactos ambientais (SILVA, *et al.*, 2015). Outro fator preponderante, é a redução de custos no processo construtivo como um todo, o que se deve a otimização do uso da matéria-prima.

Materiais de fibra são usados a partir de soluções de engenharia geotécnica até problemas envolvendo reforço, estrutura de retenção, estabilidade de taludes, aterro, estabilidade do solo, drenagem e filtração, barreiras de fluido e gás, controle de erosão, barreiras de deposição, proteção ambiental e etc (PALMEIRA, 2018). Portanto, é muito importante entender as propriedades físicas, mecânicas e químicas dos materiais usados e como essa combinação ocorrerá (PALACIOS, 2012). Por isso, a aplicação de fibras vegetais na área de engenharia civil e construção são muito promissoras. Entre eles tem: origem natural abundante, baixo custo, fácil renovação, baixa densidade, altas propriedades específicas, menos abrasivas que a fibra de vidro, além de serem biodegradáveis e atóxicos (BLEDZKI; GASSAN, 1999), o que condiz com suas propriedades mecânicas e tem chamado à atenção de diversos pesquisadores.

No Brasil, o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, da Bahia realizou pela primeira vez pesquisas sobre a aplicação de fibras naturais em concreto, utilizando fibras de coco, sisal, bambu, piaçava e bagaço e obteve resultados satisfatórios. A partir da experiência do CEPED, diversos outros centros passaram a estudar a utilização de materiais vegetais na construção civil, como bambu (GHAVAMI, 1999), sisal e fibra de coco (TOLEDO FILHO, *et al.*, 1990), e resíduos vegetais e fibras. (AGOPYAN, 1996; SAVASTANO *et al.*, 1997).

Conforme mostra a Figura 2, as fibras naturais podem ser classificadas conforme sua origem: animal, vegetal, mineral, poliméricas, cerâmicas e metálicas.

**Figura 2** – Classificação das fibras.



Fonte: Santiago (2011), (adaptado).

Existem muitos experimentos para estudar o comportamento e as características das fibras vegetais. O comportamento de cada fibra e suas propriedades físicas, químicas e mecânicas estão intimamente relacionadas aos seus materiais e processos de fabricação. Portanto, eles devem ser estudados para avaliar o desempenho de materiais compósitos.

Agopyan (1996), em seu trabalho sobre as fibras vegetais como reforços de matriz frágil, conseguiu elencar 19 tipos de fibras que podem ser úteis para a construção civil. Pelas propriedades mecânicas (resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento à ruptura), propriedades físicas, relação entre comprimento e diâmetro. Embora as pesquisas tenham avançado o desenvolvimento de produtos compostos reforçados com fibras vegetais, como sisal e coco ainda são incipientes, e os produtos reforçados com elas ainda não foram comercializados no Brasil. Considerando a grande variedade de fibras naturais, sua disponibilidade e baixos custos de produção, percebe-se um enorme potencial inexplorado.

Nascimento e Galvão (2016), descobriram que, quando usado para selar alvenaria, o uso de fibra de coco no material compósito melhora significativamente o conforto térmico e a resistência, além de promover a reciclagem desses resíduos vegetais.

Conforme afirma Oliveira (2011), as fibras de coco babaçu com respectivamente, 0%, 0,30% e 0,60% tiveram alto potencial para aplicações, atuando como reforço em solo-cimento. Observou-se também que as amostras de solo-cimento estudadas atenderam às condições mínimas de resistência a compressão aos 28 dias de idade, constatando também que as fibras reagiam como obstáculos, evitando a propagação de fissuras.

Nascimento (2011) relata que os ensaios de resistência à compressão, absorção de água, massa específica, variação de temperatura e densidade forneceram resultados importantes e satisfatórios para a comercialização do tijolo para construção civil, além de possuir características que o promovem como material viável que pode ser utilizado na construção civil, em especial na produção de tijolos modulares destinados para habitações.

Abdullah (2011), diz que as fibras de coco podem ser utilizadas como elemento de reforço ou ainda ser utilizadas substituindo a areia. Afirma ainda que, até um limite ótimo, o aumento no teor de fibra aumentará o módulo de ruptura e a resistência à compressão.

Raj (2017), descreve que, à medida que o conteúdo de fibra aumenta a resistência à compressão aumenta até um limite ideal de acréscimo, também observa que esses tipos de construção também podem ser benéficos para áreas sísmicas, já que as propriedades do tijolo de solo-cimento reforçado com fibras permitem que o material dê sinais de ruptura, levando à percepção antes que o elemento chegue ao colapso.

Ali (2011), ainda acrescenta que as fibras de coco têm grande potencial para serem utilizadas para diferentes finalidades na engenharia civil, destacando que o comportamento da fibra em componentes estruturais deve ser investigado.

Embora as pesquisas tenham avançado o desenvolvimento de produtos compostos reforçados com fibras vegetais, como sisal e coco ainda são incipientes, e os produtos reforçados com elas ainda não foram comercializados no Brasil. Considerando a grande variedade de fibras naturais, sua disponibilidade e baixos custos de produção, percebe-se um enorme potencial inexplorado.

## 2.4 FIBRAS DE COCO

### 2.4.1 Coco

O coqueiro é uma árvore da família *Arecaceae* (família das palmeiras). O coco é um fruto formado a partir de uma semente chamada drupa, entre as camadas que compõe a estrutura do coco, tem-se: epicarpo, constituído por uma camada externa fina e lisa que forma a sua casca; mesocarpo, a camada intermediária da qual a fibra é obtida; endocarpo, uma camada lenhosa e dura e a castanha chamada de albúmem sólido, é a parte do fruto com maior valor comercial junto com a água de coco. As camadas são mais bem representadas na Figura 3.



Fonte: MATTOS *et al.*, 2011.

O fruto tem peso médio de 1,4 kg e a quantidade de água diminui à medida que o fruto amadurece (BRAINER, 2018). Atualmente, o país é o quinto maior produtor de coco do mundo, com uma produção em torno de 2,33 milhões de toneladas, seguido pela Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka (IBGE, 2020). Os cocos são amplamente consumidos nas costas

tropicais e conseqüentemente são difíceis de descartar. O coco possui três fibras distintas: fibra longa branca, fibra longa marrom e marrom curta. A fibra branca é retirada de cascas de coco com 8 a 10 meses de idade através do processo de retificação natural. As fibras marrons são retiradas de cocos maduros com aproximadamente 12 meses de idade. Um terço do material marrom fibroso consiste em fibras longas e dois terços em fibras curtas (CORREIA, 2012).

As pesquisas sobre o uso da fibra de coco em materiais compósitos (combinação de materiais diferentes para obter um produto de melhor qualidade) são motivadas pelo interesse em produtos ecológicos, de fonte renovável, biodegradável, de baixo custo, suas propriedades oferecem uma série de alternativas para reutilização e reciclagem.

#### **2.4.2 Processo de extração das fibras**

As fibras são constituídas por materiais lignocelulósicos, que é extraída do mesocarpo (parte fibrosa espessa), o processo convencional de extração das fibras é realizado de duas formas, a primeira por maceração e a outra é feita por desfibramento mecânico. A maceração é realizada nas fibras de coco, enquanto o desfibramento mecânico ocorre nas fibras de coco seco. Após a separação das cascas, elas serão submetidas à maceração, que consiste na imersão em água para a desagregação dos tecidos fibrosos. Durante o processo de maceração as cascas do coco são imersas em água por um período de 4 a 12 semanas para que ocorra uma fermentação anaeróbia espontânea da matéria vegetal, auxiliando a liberação dos feixes fibrosos. Essa variação de tempo depende de fatores químicos e físicos como PH e a temperatura da água (CASTILHOS, 2011).

As fibras têm um comprimento que varia de 10 a 200 mm. Em comparação com outras fibras vegetais, a fibra de coco tem uma porcentagem menor de celulose (36 a 43%), entretanto a quantidade de lignina (41 a 45 %) é cerca de duas a quatro vezes o valor das fibras de juta e sisal, o que dá um maior valor de resistência e dureza perante as outras fibras (ESMERALDO, 2006).

Suas principais características são baixa densidade, boa flexibilidade de processo e fácil modificação com agentes químicos, além de ser um recurso renovável, biodegradável e não abrasivo (PANNIRSELVAM *et al.*, 2005; VALE; SOARES; CASAGRANDE, 2007).

#### **2.4.3 Vantagens e desvantagens das fibras de coco**

A fibra de coco tem uma variedade de propriedades valiosas que a tornam comercialmente importante, incluindo resistência à decomposição e flexibilidade. O coco tem

propriedades favoráveis em aplicações de engenharia, é um material que possui novas condições aplicáveis e proporciona economia para quem o utiliza. “Em comparação com as fibras sintéticas, o uso da fibra de coco como material de reforço tem muitas vantagens, o que o que justifica assim o seu uso como reforço em matrizes tanto cimentícias” (TAVARES *et al*, 2012).

Suas vantagens incluem: economia de energia; grande abundância; baixo custo; inofensivo para a saúde; e é biodegradável. Uma de suas desvantagens é que devido a sua alcalinidade, a durabilidade é baixa quando usado com cimento, carece de normas estabelecidas. Não há padronização da aplicabilidade da fibra, produzindo uma infinidade de resultados.

Necessita de estudos aprofundados, métodos científicos que determinam a quantidade exata de fibra para cada caso em estudo. A fibra de coco é extraída por um processo de três etapas de secagem, trituração e separação, após a extração e preparação pode ser utilizada para diversos fins.

#### **2.4.4 Aplicação das fibras**

A fibra de coco é utilizada na produção de tapetes e capachos, pois possuem alta durabilidade, capacidade de reter mais sujeira, além de ser um fungicida natural; em cordoalha especial para navios, devido à sua resistência à água do mar; em vassouras e escovas; como enchimento de almofadas; na produção de madeira prensada; coberturas para reflorestamento; suporte para biofilmes, entre outros (CLAUS, 2010).

### **2.5 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO**

Muitos ensaios são realizados para determinar as características do solo, tais como umidade, granulometria, limites de consistência, etc. (FRANCO *et al.*, 2012). Os ensaios para determinar essas características serão apresentados a seguir:

#### **2.5.1 Umidade higroscópica**

A umidade do solo, que é encontrada na natureza, é chamada de umidade natural. Quando uma certa quantidade de solo é coletada e deixada para secar ao ar, a umidade do solo tende a diminuir até certo ponto. Essa umidade que o solo exhibe à medida que seca ao ar é chamada de umidade higroscópica.

Em outras palavras, a umidade higroscópica é a quantidade máxima de água que o solo absorve da atmosfera, no estado de vapor, para manter o equilíbrio com o meio ambiente (JESUS, 2013). Os testes para atingi-los são padronizados pela NBR 6457 (ABNT, 2016).

O teor de umidade pode ser calculado a partir da seguinte Equação 1.

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

$w$  = Teor de umidade (%);

$M_1$  = Massa do solo úmido mais a massa do recipiente(g);

$M_2$  = Massa do solo seco mais a massa do recipiente (g);

$M_3$  = Massa do recipiente com a tampa (g).

### 2.5.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação da dimensão das diferentes partículas presentes no solo. O experimento de análise granulométrica realizado em laboratório consiste em três etapas: peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação.

No ensaio de peneiramento, uma porção de solo é passada por uma série de peneiras de malha quadrada de tamanho padrão. A massa retida em cada peneira é pesada e a porcentagem determinada em relação ao material que passa.

O ensaio de sedimentação é baseado na Lei de Stokes, que estabelece uma relação entre o diâmetro das partículas e sua velocidade de sedimentação em meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos. É feito para conhecer a composição da parte mais fina do solo (KORMANN, 1997).

Para calcular a massa total utiliza-se a seguinte Equação 2.

$$M_s = \frac{M_t - M_g}{100 + W} \cdot 100 + M_g \quad (2)$$

Onde:

$M_s$  = Massa total seca da amostra (g);

$M_t$  = Massa da amostra seca ao ar (g);

$M_g$  = Massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm (g);

$W$  = Umidade higroscópica do material (%).

Para calcular as porcentagens de material passante nas peneiras de 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8 e 2,0 mm utiliza-se a seguinte Equação 3.

$$Q_g = \frac{M_s - M_r}{M_s} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

$Q_g$  = Porcentagem do material passado em cada peneira (%);

$M_s$  = Massa da amostra seca (g);

$M_r$  = Massa retida acumulada em cada peneira (g).

Para calcular as porcentagens de material passante nas peneiras de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm utiliza-se a seguinte Equação 4.

$$Q_f = \frac{M_u \cdot 100 - M_r (100 \cdot w)}{M_u \cdot 100} \cdot N \quad (4)$$

Onde:

$Q_f$  = Porcentagem do material passado em cada peneira (%);

$M_u$  = Massa úmida do material submetido ao peneiramento fino (g);

$M_r$  = Massa do material retido acumulado em cada peneira (g);

$w$  = Teor de umidade (%);

$N$  = Porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm (%).

### 2.5.3 Limites de Atterberg

O limite de plasticidade (LP) é o valor do teor de umidade na qual o solo passa do estado plástico ao semissólido, o que significa que quando o solo ultrapassar esse limite, o solo não terá mais as características de um sólido. Essa mudança de estado ocorre no solo gradualmente, dependendo da variação do teor de umidade, o limite de plasticidade deve ser arbitrado, o que não reduz seu valor já que os índices são resultados comparativos.

O limite de liquidez (LL) representa a transição de um estado plástico para um estado líquido e está relacionado com a capacidade de absorção de água do solo.

O índice de plasticidade do solo deve ser calculado pela Equação 5.

$$IP = LL - LP \quad (5)$$

Onde:

$IP$  = Índice de plasticidade;

$LL$  = Limite de liquidez, correspondente à norma ABNT NBR 6459;

$LP$  = Limite de plasticidade, correspondente à norma ABNT NBR 7180.

#### 2.5.4 Massa específica

De acordo com (DAS, 2007), a massa específica dos grãos ou densidade real dos grãos é um número adimensional usado para classificar os solos. O valor real da densidade de grãos varia de acordo com a composição mineral e sua porcentagem presente no solo.

A massa específica pode ser calculada a partir da seguinte Equação 6.

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_2 - M_1 + M_s} \cdot \rho_w \quad (6)$$

Onde:

$\rho_s$  = Massa específica dos grãos (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_w$  = Massa específica da água, à temperatura T de ensaio, obtida na Tabela A.1. (g/cm<sup>3</sup>);

$M_s$  = Massa da amostra seca (g);

$M_1$  = Massa do picnômetro + solo + água (g);

$M_2$  = Massa do picnômetro + água (g).

#### 2.5.5 Classificação *Highway Research Board* ou *Association State Highway Officials*

O sistema de classificação *Highway Research Board* (HRB) ou *American Association State Highway Officials* (AASHO) é utilizado para identificar o solo com base no resultado do ensaio de granulometria e limites de Atterberg. A Tabela 5, mostra a classificação segundo o sistema HRB.

Tabela 5 – Classificação dos Solos segundo o HRB.

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira n° 200)							Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira n° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
N° 200 (p)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa n° 40				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Limite de Liquidez - LL (%)											
Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: Pinto, 2006.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia foi realizada em etapas. Na primeira etapa, foram feitos os ensaios de umidade higroscópica, análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade e massa específica real dos grãos, realizados no laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia/GO. Na segunda etapa, foi feito o ensaio de resistência a compressão, realizado no laboratório de Materiais da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, Anápolis/GO, e o ensaio de absorção de água realizado no laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia/GO.

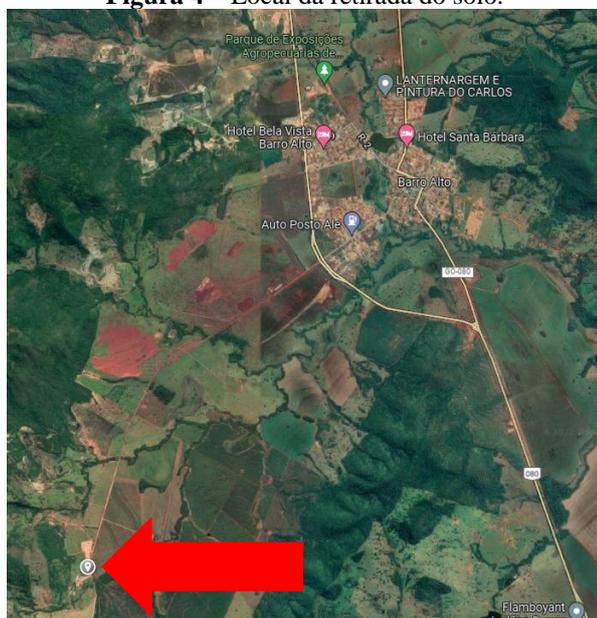
#### 3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho para a produção dos tijolos de solo-cimento são: solo, cimento Portland, fibra de coco e água.

##### 3.1.1 Solo

O solo utilizado foi extraído aproximadamente a 6 km da cidade de Barro Alto/GO (Figura 4), com uma quantidade de aproximadamente 160 kg. O solo foi armazenado em sacos e transportado para o laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, Goianésia/GO, onde prosseguiu para as etapas de caracterização e produção dos tijolos.

**Figura 4** – Local da retirada do solo.



Fonte: Google Maps, 2022.

### 3.1.2 Fibras de coco

A fibra de coco seca foi obtida a partir de um produtor da cidade de Goiânia/Goiás, que a fornece em sacos de 1,85 kg. Para melhor distribuição foi dividido em sacos menores com cerca de 370 g, conforme visto na Figura 5. As fibras passaram por um processo de corte manual, onde forma cortadas com tamanhos aleatórios de 2 cm a 5 cm. Ao todo obteve-se uma massa de 0,693 kg de fibras.

**Figura 5** – Fibra de coco obtida para a confecção dos tijolos.



Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.1.3 Cimento

O cimento utilizado foi o CP II Z-32, com quantidade de 50 kg, da marca Ciplan, conforme visto na Figura 6. Este cimento é constituído de silicatos de cálcio, alumínio, ferro, sulfato de cálcio, filler carbonático e atende as características estabelecidas pela NBR 16697 (ABNT, 2018).

**Figura 6** – Cimento CPlI-Z-32.



Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.1.4 Água

Foi utilizada água potável proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Goianésia – GO, fornecida pela companhia SANEAGO, conforme a NBR 10833 (ABNT, 2012), que dispõe que a água para a produção do solo-cimento deve estar livre de impurezas prejudiciais à hidratação do cimento, conforme a NBR 15900-1 (ABNT, 2009).

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Caracterização física do solo

O solo foi submetido à análise granulométrica, através da combinação dos métodos de peneiramento NBR 7181 (ABNT, 2018), e determinação dos limites de Atterberg, conforme prescreve NBR 6459 (ABNT, 2016) e NBR 7180 (ABNT, 2016).

A análise granulométrica por peneiramento e os ensaios dos limites de Atterberg foram realizados no laboratório de Materiais e Estruturas da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG. As medidas utilizadas para a escolha do solo foram baseadas na NBR 10833 (ABNT, 2012), cujos requisitos necessários para a fabricação dos tijolos solo-cimento são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6** – Requisitos gerais para o solo utilizado no tijolo de solo-cimento (Adaptado de NBR 10833:2012).

Material	Características	Normas
Solo	Passando na peneira ABNT 4,75 mm (Nº4): 100%;	ABNT NBR NM ISO3310-1
	Passando na peneira ABNT 0,075 mm (Nº200): 10 a 50%;	ABNT NBR NM ISO3310-1
	Limite de Liquidez $\leq 45\%$ ;	--
	Índice de Plasticidade $\leq 18\%$ .	--

Fonte: NBR 10833 (2012), (adaptado).

Cada amostra utilizada nos ensaios seguiu as recomendações da NBR 6457 (ABNT, 2016). O solo foi deixado secar ao ar até atingir uma umidade higroscópica, depois foi destorroado com um almofariz, homogeneizado (Figura 7) e quarteado.

**Figura 7** – Solo destorroado e homogeneizado.



Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.2.1.1 Determinação da análise granulométrica

A Figura 8 mostra, em ordem, todas as peneiras utilizadas para peneiramento grosso (de aberturas 50; 38; 25; 19; 9,5 e 4,8) e peneiramento fino (de aberturas 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm).

O ensaio granulométrico foi realizado conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016).

- Para a preparação deste ensaio pegou-se uma fração da amostra passada na peneira de 76 mm.
- O material foi passado na peneira de nº 10 (2,0 mm) e a parte retida foi colocada na estufa a 105° a 110°C.
- O peneiramento grosso foi executado com a massa retida na peneira nº 10, e passado nas peneiras de abertura de 50; 38; 25; 19; 9,5 e 4,8mm.
- Para o peneiramento fino foi utilizado o solo seco retido na peneira de nº 200 (0,075 mm).
- Lavado e levado para a estufa até ficar completamente seco.
- Efetuou-se o peneiramento fino nas peneiras com aberturas de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075mm.
- O peneiramento foi realizado de forma manual, sequencialmente registrou-se a massa retida em cada peneira.

**Figura 8** – Conjunto de peneiras: a) (50 mm- 4,8 mm) e b) (1,2 mm - 0,075 mm).



(a)



(b)

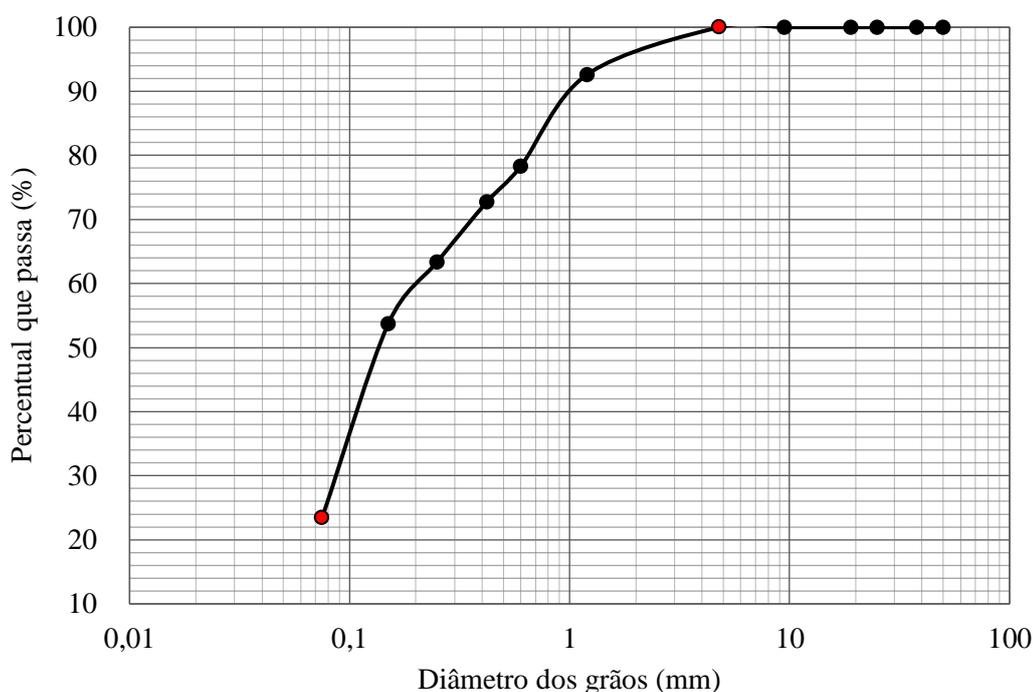
Fonte: AUTORES, 2022.

Não foi necessário realizar o ensaio de sedimentação, visto que a quantidade de amostra que passa na peneira de 0,075 mm não chega a 120 g.

A partir dos ensaios de peneiramento grosso e fino do solo (APÊNDICE A) foi possível obter uma curva granulométrica do solo conforme mostrado na Figura 9. Ao analisar a curva granulométrica, pode-se observar que o material fica retido em todas as peneiras com tamanho inferior a 1 mm, mostrando que existem partículas com tamanhos diferentes, o que o caracteriza como um material bem graduado.

Os pontos em vermelho da curva demonstram o percentual de material retido nas peneiras de abertura de 0,075 mm e 4,8 mm, são 23,43% e 100%, atendendo assim a especificações da NBR 10833 (ABNT, 2012), a qual estabelece que o percentual passante na peneira de 4,8 mm deve ser de 100% e para a peneira nº 200 seja de 10-50%.

**Figura 9** – Curva Granulométrica.



Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.2.1.2 Determinação dos limites de Atterberg

#### 3.2.1.2.1 Determinação do limite de liquidez

O ensaio de determinação do limite de liquidez foi realizado conforme a NBR 6459 (ABNT, 2016).

- A amostra de solo seca ao ar é primeiro passada pela peneira de abertura nº 40 (0,42 mm), NBR 6457 (ABNT, 2016);

- 100 g de solo foi colocado em um recipiente, com a adição de água destilada. Posteriormente, misturado com uma espátula até se obter uma massa homogênea (Figura 10).

**Figura 10** – Amostra de solo homogeneizada.



Fonte: AUTORES, 2022.

- Após a homogeneização, a massa foi espalhada na cápsula do aparelho de Casagrande, de modo que a parte central tivesse cerca de 10 mm de espessura. Em seguida, é feita uma ranhura no centro da massa utilizando o cortador (cinzel) do aparelho (Figura 11).

**Figura 11** – Aparelho de Casagrande.



Fonte: AUTORES, 2022.

- Ao final desta etapa, foram aplicados golpes girando a manivela a uma velocidade constante de 2 rotações por segundo, registrando assim o número de golpes fechando a fenda de abertura na parte central;
- De acordo com a especificação da norma, o número de acertos deve estar entre 15 e 35, e quando isso ocorre, uma parte da amostra deve ser retirada para determinar o teor de umidade.
- O procedimento é realizado até se obter quatro pontos de ensaio;
- Através dos valores de umidade, é traçado um gráfico. Onde o valor de limite de liquidez (LL) é determinado pela umidade correspondente a 25 golpes.
- 

#### 3.2.1.2.2 Determinação do limite de plasticidade

O limite plasticidade foi obtido de acordo com as determinações da norma NBR 7180 (ABNT, 2016).

- Para o ensaio foi preparada uma amostra de solo passado na peneira de número 40 (0,42 mm), a mesma utilizada para o teste de limite de liquidez;
- A água é adicionada a amostra de solo até que se forme uma pasta homogênea;
- Desta amostra foi retirado uma porção de 10 g para se formar uma bola (Figura 12);
- A bola de massa é pressionada com os dedos contra uma placa de vidro até formar uma haste cilíndrica de aproximadamente 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento (Figura 13);
- Esta etapa é repetida até que o cilindro se fragmente;

**Figura 12** – Bola de solo conformada.



Fonte: AUTORES, 2022.

**Figura 13** – Solo em formato cilíndrico conformado sobre a placa de vidro.



Fonte: AUTORES, 2022.

- Após o cilindro se fragmentar, estes foram colocados em cápsulas metálicas (Figura 14), pesado e levado a estufa a 105 a 110° C por 24 horas, onde, após a retirada foram pesados para obtenção da massa seca e por fim para o cálculo do teor de umidade da amostra.

**Figura 14** – Amostra de solo em cápsulas de alumínio.



Fonte: AUTORES, 2022.

No Quadro 2, são demonstrados os resultados obtidos nos ensaios de limites de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade do solo.

Conforme as especificações da NBR 10833 (ABNT, 2012), é considerado adequado para a produção de solo-cimento, solos que possuem limite de liquidez  $\leq 45\%$  e índice de plasticidade  $\leq 18\%$ . Portanto, os valores obtidos são inferiores ao limite máximo estabelecido pela norma.

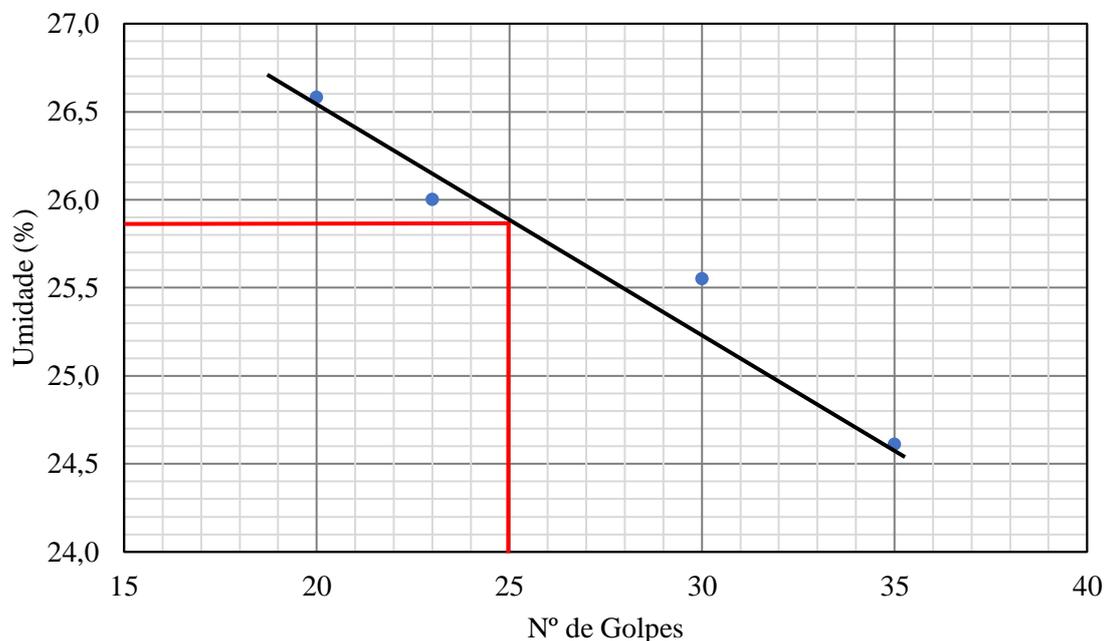
**Quadro 2** – Limites de Atteberg.

Solo	Resultados
Limite de Liquidez (LL)	25,82%
Limite de Plasticidade (LP)	23,97%
Índice de Plasticidade (IP)	2,85%

Fonte: AUTORES, 2022.

De acordo com os dados de ensaio realizado por meio do aparelho de Casagrande (APÊNDICE B), foi traçado um gráfico de fluência representado por dois valores, obtendo-se a determinação do limite de liquidez quando a umidade corresponde a ordenada de 25 golpes (Figura 15).

**Figura 15 – Limite de Liquidez.**



Fonte: AUTORES, 2022.

Através do gráfico é possível observar que quando maior a umidade, menos golpes são necessários para o fechamento da ranhura no decorrer do ensaio, ou seja, quanto mais próximo do estado líquido, mais maleável tende a se tornar o solo, e pode se concluir que o solo corrigido utilizado está dentro dos parâmetros normativos para a produção de tijolo de solo-cimento como material de construção, pois possui a composição argilosa necessária para a estabilização do cimento, proporcionando a moldagem e compactação do tijolo.

### 3.2.1.3 Determinação da massa específica dos grãos

O ensaio foi realizado conforme NBR 6458 (ABNT, 2016). A amostra foi preparada conforme especificado na NBR 6457 (ABNT, 2016), o material utilizado para o ensaio foi passado na peneira de 4,8 mm.

- A quantidade de solo utilizada para o ensaio foi de 50 g;
- A amostra foi colocada em um béquer e imersa em água destilada por 24 horas;

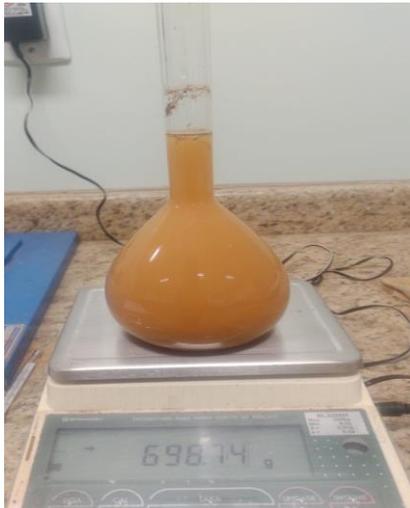
- Em seguida, foi pesado o picnômetro, vazio, posteriormente foi colocado água dentro do picnômetro e pesado novamente anotando assim a massa;
- Logo após, a amostra foi colocada e adicionada água ao picnômetro até cobrir a amostra e aplicado vácuo no picnômetro por cerca de 15 minutos para remover o ar (Figura 16);
- Finalizado os 15 minutos, completou-se o picnômetro com água destilada até cerca de 1 cm abaixo da marca de calibração, aplicou-se novamente o vácuo por 15 minutos para a retirada do ar;
- Na sequência adicionou água com um conta-gotas até que a parte inferior do menisco coincida com a marca de referência;
- Pesa-se o conjunto solo + água + picnômetro e a temperatura do conteúdo é medida (Figura 17).

**Figura 16** – Aplicação de vácuo ao picnômetro.



Fonte: AUTORES, 2022.

**Figura 17** – Picnômetro com amostra de solo + água.



Fonte: AUTORES, 2022.

Ao determinar a massa específica dos grãos obteve-se dois resultados (APÊNDICE D), e fez-se a média dos dois resultados equivalente a  $1,857 \text{ g/cm}^3$ , e por verificação, a norma ressalta que a diferença entre esses dois ensaios não deve ser superior a  $0,02 \text{ g/cm}^3$ , a verificação diferiu mais que  $0,02 \text{ g/cm}^3$ , tornado assim um ensaio inválido. O Quadro 3 representa os resultados obtido neste ensaio.

**Quadro 3** – Massa específica real dos grãos.

Solo	Resultados
Massa específica real dos grãos ( $\text{g/cm}^3$ )	1,814
Massa específica real dos grãos ( $\text{g/cm}^3$ )	1,899
Média ( $\text{g/cm}^3$ )	1,857
Verificação	0,085

Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.2.1.3 Ensaio de umidade higroscópica

Os testes foram realizados de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016).

- Foram colocadas 50 g da amostra em cápsulas metálicas com tampa e pesado sua massa;
- Pesou-se as cápsulas vazias junto com as tampas e anotou-se a massa;
- As cápsulas posteriormente são colocadas em uma estufa a uma temperatura de  $105^\circ\text{C}$  a  $110^\circ\text{C}$  durante 24 horas;
- Após 24 horas na estufa, a amostra foi retirada e, ao atingir a temperatura ambiente, esta foi pesada novamente registrando-se o peso. A Figura 18 mostra as cápsulas usadas para determinar a umidade do solo.

**Figura 18** – Cápsulas para determinação do teor de umidade.



Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.2.1.4 Classificação *Highway Board* (HRB)

De acordo com a classificação HRB, o solo é do tipo A-2-A, ou seja, areia siltosa ou argilosa (Tabela 7).

**Tabela 7 – Classificação HRB.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Solo tipo A-2-4</b>	<b>Solo corrigido</b>
P <sub>200</sub>	< 35%	23,43%
Limite de liquidez	< 40%	26,82%
Índice de plasticidade	< 10%	2,85%
Tipo do material	Areia siltosa ou argilosa	
Classificação como subleito	Excelente a bom	

Fonte: AUTORES, 2022.

## 3.2.2 Determinação das misturas de solo-cimento com adição de fibra de coco

### 3.2.2.1 Traço

Tendo os materiais prontos para a fabricação dos tijolos, foram testados 4 traços distintos, conforme estipula a NBR 10833 (ABNT, 2012), de cada traço foi produzidos 20 tijolos. O traço de referência adotado para a confecção dos tijolos é o de 1:10, sendo uma parte de cimento e dez partes de solo (traço definido por volume), como recomenda a ABCP (2000). Caso a produção diária de tijolos seja superior a 10000 unidades, três traços volumétricos devem ser ensaiados, 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento: solo). A escolha desse traço também se embasou nas bibliografias, experiências realizadas e informações técnicas de representantes da prensa hidráulica utilizada e também porque se torna mais fácil de ser assimilada por mão de obra não qualificada, que é um dos principais alvos da fabricação de tijolos de solo-cimento.

### 3.2.2.2 Definição das dosagens

A dosagem envolve a realização de uma série de testes laboratoriais destinados a selecionar a quantidade mínima de cimento que deve ser inserida no solo para proporcionar durabilidade e resistência adequadas ao material para o uso pretendido (FOPPA, 2015). No trabalho realizado por Akamatsu *et al.* (2017) e Souza (2006) foram utilizados diferentes quantidades de cimento, chegando a proporções de 10%. Segundo os autores, esses valores estão de acordo com a literatura e experiências brasileiras e internacionais para várias aplicações estabilização de solos com cimento.

Entre outras pesquisas de estabilização solo-cimento com valores de cimento entre 2% e 15%, destacam-se: Nascimento, 2016; Belusso 2018; Rodrigues e Amaral, 2019; Guimarães, 2002; Consoli, 2003; Thomé, 2005 e Cruz, 2008. Para abranger uma gama muito ampla de campos de pesquisa, optou-se por quantidades de cimento que variam dentro da faixa de valores publicados na literatura pertinente. Assim, para que as amostras de solo-cimento tenham a mesma proporção de finos, ou seja, todas tenham a mesma aparência, o teor de cimento adotado foi de 10%, visto que estará dentro do valor aceitável para estabilizar o solo com cimento. Essas técnicas têm sido utilizadas por diversos autores, como Pissato e Soraes (2006).

### 3.2.2.3 Quantidade do solo

- Para a confecção dos tijolos de solo-cimento fez-se inicialmente uma verificação do volume que um tijolo possuiria após a moldagem, as dimensões obtidas foram de 23 x 5 x 11 cm, perfazendo um volume de 1265 cm<sup>3</sup> (Figura 19a);
- Com base nisso, realizou-se alguns testes preliminares para a definição do traço, visto que o recipiente da prensa contém um volume de 1265 cm<sup>3</sup>, os testes iniciais começaram com uma quantidade de massa de 1,265 g/cm<sup>3</sup>, prevendo uma projeção de uso de média de 1,6 kg de solo seco (Figura 19b);
- O solo foi colocado em um molde com proporção de 1265 cm<sup>3</sup> mais os tijolos não tiveram uma boa compactação, o que não resultou em peças viáveis;
- Novos testes foram realizados com variação de 1,6 a 2kg, o único que resultou em um tijolo com proporções viáveis foi o de 2 kg;
- Os corpos de prova foram confeccionados com 2 kg de solo e cimento misturados nas proporções de 90% de solo e 10% de cimento o que equivale a 1,8 kg e 0,18 kg.

**Figura 19** – Ensaio preliminares: a) Verificação das dimensões da prensa e b) Molde com solo.



(a)



(b)

Fonte: AUTORES, 2022.

#### 3.2.2.4 Escolha do traço

Com base nas recomendações de Toledo Filho (1990), que propõe utilizar um teor de adição de fibra de coco entre 0,1 e 0,5% em relação a massa da mistura, foi utilizado na pesquisa um teor adicional a partir de 0,25%. A variação percentual de fibra de coco utilizado foi de 0%, 0,25%, 0,5% e 1%.

### 3.2.3 Confeção dos tijolos

#### 3.2.3.1 Preparação do solo

A produção de todos os tijolos fabricados neste trabalho foi realizada em uma prensa manual, exposta na Figura 20, cumprindo todos os parâmetros especificados pela NBR 10832 (ABNT, 2013).

**Figura 20** – Prensa manual.



Fonte: AUTORES, 2022.

Para cada traço foram feitos 16 tijolos, dos quais 10 foram utilizados para o teste de resistência à compressão e 6 para o teste de absorção. Assim, foi empregue aproximadamente 36 kg de solo e 3,6 kg para o teor de cimento para a confecção de cada traço, variando a quantidade de água. A aplicação de água é feita gradualmente enquanto a mistura é homogeneizada.

Como o objetivo era a confecção de 16 tijolos por traço, obteve-se as seguintes proporções que são demonstradas na Tabela 8, a seguir.

**Tabela 8** – Traços para a confecção dos tijolos com fibras.

Traços	Teor de Solo (%)	Teor de Cimento (%)	Teor de Fibra (%)	Massa de Solo (kg)	Massa de Cimento (kg)	Massa de Fibras (kg)	Massa de Água (ml)	A\C	Nº de corpos de prova
T1	90	10	0	36	3,6	0,000	400	0,111	16
T2	90	10	0,25	36	3,6	0,099	600	0,167	16
T3	90	10	0,50	36	3,6	0,198	1000	0,278	16
T4	90	10	1,00	36	3,6	0,396	2100	0,583	16

Fonte: AUTORES, 2022.

No processo da mistura, os materiais foram colocados na betoneira (Figura 21), de forma gradativa por aproximadamente 10 minutos para que ocorresse a homogeneização.

O processo foi executado até ser observado que a mistura estava na umidade ideal, ou seja, em um aspecto de farofa. Para tanto, foram realizados dois testes conforme recomendação do Boletim Técnico BT - 111 (2000) da ABCP (Figura 22).

O primeiro é pegar uma amostra com a mão, e apertar entre os dedos e a palma da mão; se houver marca dos dedos no bolo (Figura 22a) ao abrir a mão, significa que a mistura está no ponto certo. O outro teste é deixar cair o bolo (Figura 22b) de uma altura de cerca de um metro sobre uma superfície dura, o bolo vai se esfarelar ao contato, se isso não acontecer, significa que não foi atingida umidade suficiente.

**Figura 21** – Mistura dos materiais.

Fonte: AUTORES, 2022.

**Figura 22** – Teste verificação de umidade: a) Teste 1 (teste do tato) e b) Teste 2 (bolo de mistura solta sobre superfície).



(a)

(b)

Fonte: AUTORES, 2022.

Finalizada a homogeneização a mistura é colocada no compartimento da prensa, e é feito a prensagem do tijolo. É exercido uma força verticalmente sobre a alavanca e a mistura solo-cimento é pressionada contra a tampa, dando assim o formato do tijolo. (Figura 23).

**Figura 23** – Prensagem dos tijolos.



Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.2.3.2 Cura das amostras

Após a moldagem, os tijolos foram colocados em uma parte coberta do laboratório destinado a cura, por ser um local protegido do sol, não a necessidade da utilização da lona plástica de cobertura. Durante o período de sete dias, os tijolos foram molhados para evitar a perda de umidade para o meio externo e beneficiar a reação química entre o cimento e o solo. Após os primeiros sete dias, a molhagem foi interrompida e para o primeiro lote é feito o ensaio de compressão simples e absorção de água, para o segundo lote é aguardado o período de 28 dias para se fazer o ensaio de compressão simples e absorção de água.

### 3.2.3.3 Ensaio de absorção de água

De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012), as amostras ensaiadas de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012), não devem apresentar um valor médio de absorção de água superior a 20%, nem um valor individual superior a 22%.

Os valores de absorção de água individuais de cada amostra expressos em porcentagens (%) foi ser calculado pela Equação 7.

$$A = \left[ \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right] \cdot 100 \quad (7)$$

Onde:

$A$  = Absorção de água (%);

$M_1$  = Massa do corpo de prova seco do Tijolo (g);

$M_2$  – Massa do corpo de prova saturado (g).

Ao completar os 7 dias de cura, os tijolos foram submetidos ao ensaio de absorção de água, conforme salienta a NBR 8492 (ABNT, 2012), foram ensaiados 3 tijolos de cada traço.

Os tijolos foram pesados e anotado a massa seca, em seguida são submersos em água (Figura 24), por um período de 24 horas. Finalizado esse período, os tijolos são retirados da água, e com um pano é feito a remoção do excesso de água e posteriormente são pesados, obtendo assim a massa saturada.

**Figura 24** – Tijolos submersos em água.



Fonte: AUTORES, 2022.

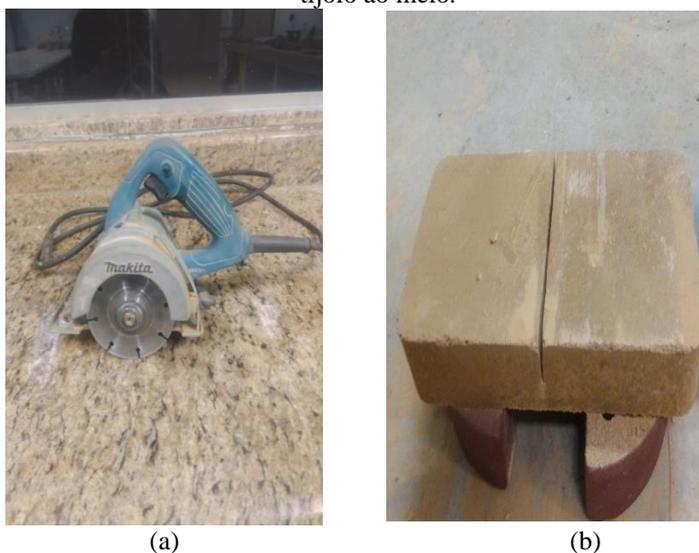
### 3.2.3.4 Ensaio de compressão simples

O ensaio foi realizado conforme a NBR 8492 (ABNT, 2012). A NBR 8491 (ABNT, 2012), estabelece uma resistência mínima de 1,7 MPa para cada tijolo individualmente.

- De cada traço foi separado 5 corpos de provas para ser ensaiado;

- Os corpos foram cortados ao meio com mesmas dimensões (Figura 25b) e posteriormente capeadas com pasta de cimento para obter superfícies planas;
- Após o endurecimento da pasta, os corpos de provas são identificados e submersos em água durante o período de 6 horas;
- O ensaio de resistência à compressão foi realizado no Laboratório de Materiais da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, Anápolis-GO (Figura 26).

**Figura 25** – Preparação dos tijolos para ensaio de resistência à compressão: a) Serra circular Makita, b) Corte do tijolo ao meio.



Fonte: AUTORES, 2022.

**Figura 26** – Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: AUTORES, 2022.

### 3.2.4 Análise dos Resultados

Os resultados encontrados nos ensaios de compressão e absorção foram apresentados em uma análise comparativa entre o traço de referência e os traços com percentual de fibra, onde foi possível analisar por meio de tabelas e gráficos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados referentes aos ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples realizados com as amostras de fibra de coco em tijolos de solo-cimento.

### 4.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os dados foram analisados com as informações apresentadas nas Tabela 9 e 10. A Figura 27 mostra o gráfico com os valores médios referentes a absorção de água.

**Tabela 9** – Absorção de água aos 7 dias.

Traços	CP	Massa do tijolo seco (g)	Massa do tijolo saturado (g)	Absorção de água (%)	Média (%)
0%	1	1795,33	1987,37	10,70	9,65
	2	1646,47	1797,31	9,16	
	3	1743,43	1902,11	9,10	
0,25%	1	1684,18	1875,60	11,37	11,64
	2	1756,65	1975,68	12,47	
	3	1622,06	1801,84	11,08	
0,50%	1	1720,85	1898,16	10,30	11,88
	2	1702,60	1892,43	11,15	
	3	1656,02	1890,83	14,18	
1%	1	1581,19	1781,68	12,68	12,47
	2	1628,29	1842,22	13,14	
	3	2046,14	2283,32	11,59	

Fonte: AUTORES, 2022.

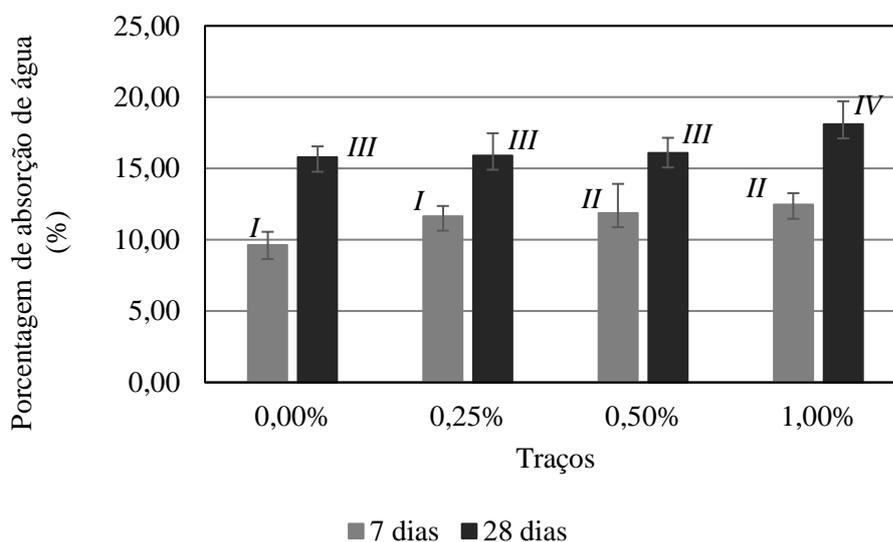
**Tabela 10** – Absorção de água aos 28 dias.

Traços	CP	Massa do tijolo seco (g)	Massa do tijolo saturado (g)	Absorção de água (%)	Média (%)
0%	1	1665,03	1913,02	14,89	15,77
	2	1669,25	1936,56	16,01	
	3	1887,92	2197,58	16,40	
0,25%	1	1727,53	1979,50	14,59	15,91
	2	1917,39	2255,69	17,64	
	3	1684,22	1945,40	15,51	
0,50%	1	1655,12	1917,24	15,84	16,07
	2	1654,32	1951,41	13,73	
	3	1691,11	1934,9	14,42	
1%	1	1648,56	1928,37	16,97	18,11
	2	1536,35	1842,55	19,93	
	3	1689,65	1983,85	17,41	

Fonte: AUTORES, 2022.

Para a taxa de absorção, a norma estipula que os tijolos devem ter um valor individual menor ou igual a 22% e uma média menor ou igual a 20%. Com base nisso, observou-se que todas as composições com fibra de coco atenderam aos requisitos da NBR 8491 (ABNT, 2012). São apresentados também os desvios padrões de cada componente juntamente com a análise estatística realizada, foi interpretado como valores estatisticamente iguais expressos com a mesma letra, sendo I o melhor, II o segundo melhor, e assim seguidamente.

**Figura 27** – Capacidade média de absorção de água dos traços.



Fonte: AUTORES, 2022.

A absorção de água está relacionada com a microestrutura dos tijolos de solo-cimento determinando a quantidade de vazios, analisando os resultados (Figura 29), verifica-se que a absorção de água é maior para os tijolos com percentual de 1%, ou seja, houve um aumento de 29,22% aos 7 dias em relação ao traço de referência.

Em relação à proporção das fibras na composição, os tijolos apresentam maior capacidade de absorção, possivelmente devido à alta capacidade absorptiva das fibras. Isso pode ter acontecido pelo fato das fibras estar em grandes quantidades dentro da matriz, apresentando assim uma absorção de água notavelmente alta em função do volume de vazios (PEREIRA, 2018).

Conforme observado, há uma tendência de aumento de 45,23% da absorção de água em 28 dias em comparação com os 7 dias para o traço de 1%. Este comportamento ocorreu tanto nos tijolos sem fibras quanto nos tijolos com adição de fibras de coco. O valor médio de absorção de todas as preparações, aos sete dias, foi de 11,41%; aos 28 dias, foi de 16,11%, ou seja, ligeiramente superior.

## 4.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES

Os valores obtidos através do método de resistência a compressão simples dos tijolos de solo-cimento com adição de fibra de coco, com 7 e 28 dias são apresentados nas Tabelas 11 e 12. Sendo que de acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012), os tijolos de solo-cimento ensaiados devem apresentar valores de resistência média igual ou superior a 2,0 MPa aos 7 e 28 dias, mas os valores de resistência individuais não podem ser inferiores a 1,7 MPa.

**Tabela 11** – Resistência à compressão simples aos 7 dias.

Traço	CP	Carga Ruptura (kgf)	Tensão Ruptura (MPa)	Tensão Média (MPa)
0%	1	2.270	1,8	1,66
	2	1.650	1,3	
	3	1.540	1,2	
	4	1.490	1,2	
	5	1.340	1,1	
0,25%	1	2.270	1,8	1,40
	2	1.240	1,0	
	3	1.310	1,1	
	4	1.080	0,9	
	5	1.110	0,9	
0,50%	1	1.280	1,0	1,52
	2	1.510	1,2	
	3	1.700	1,4	
	4	1.570	1,3	
	5	1.540	1,2	
1%	1	1.990	1,6	2,33
	2	2.370	1,9	
	3	2.080	1,7	
	4	2.840	2,3	
	5	2.350	1,9	

Fonte: AUTORES, 2022.

A Tabela 11 apresenta os resultados dos corpos de prova obtidos aos 7 dias após a fabricação, pode-se observar que o traço de 1% apresentou a resistência adequada para confecção dos tijolos de solo-cimento através do traço 1:10.

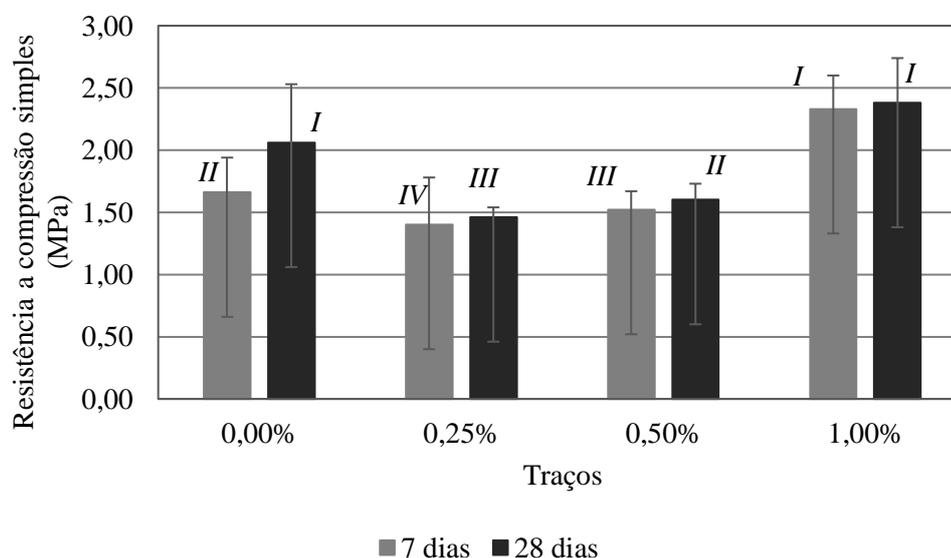
**Tabela 12** – Resistência à compressão simples aos 28 dias.

Traço	CP	Carga Ruptura (kgf)	Tensão Ruptura (MPa)	Tensão Média (MPa)
0%	1	2.670	2,2	2,06
	2	2.470	2,0	
	3	1.280	1,0	
	4	1.870	1,5	
	5	2.020	1,6	
0,25%	1	1.450	1,2	1,46
	2	1.580	1,3	
	3	1.460	1,2	
	4	1.390	1,1	
	5	1.400	1,1	
0,50%	1	1.410	1,1	1,60
	2	1.620	1,3	
	3	1.710	1,4	
	4	1.530	1,2	
	5	1.720	1,4	
1%	1	1.840	1,5	2,38
	2	2.100	1,7	
	3	2.820	2,3	
	4	2.890	2,3	
	5	2.250	1,8	

Fonte: AUTORES, 2022.

A Tabela 12 apresenta as resistências obtidas aos 28 dias de cura, é possível observar que os traços de 0% e 1% atenderam a norma. Em relação à resistência à compressão, a inserção das fibras proporcionou um acréscimo significativo somente para o traço de 1%, apresentando assim um aumento de resistência considerável em relação aos tijolos sem fibra.

O gráfico apresentado na Figura 28 mostra a média dos valores obtidos com o ensaio de compressão à resistência simples.

**Figura 28** – Valores médios da resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias de cura.

Fonte: AUTORES, 2022.

De modo geral, apesar do traço de 0,25% e 0,50% não atingirem o valor especificado pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012), ocorreu um aumento da resistência à compressão ao decorrer de 7 e 28 dias dos traços de 0%, 0,25%, 0,50% e 1%, de 24,10%, 4,29%, 5,26% e 2,15%.

Em relação às características de compressão (Figura 28), o tijolo de solo-cimento com 1% de fibra de coco foi o que apresentou a maior resistência entre os tijolos reforçados, demonstrando assim que o tamanho da fibra afeta o desempenho da resistência à compressão e que o tamanho menor da fibra não proporciona benefícios adicionais para a produção de tijolos solo-cimento. As fibras de coco no solo-cimento proporcionaram a redistribuição de esforços no material, melhorando significativamente o tijolo. No entanto, o traço com solo natural sem fibra não atendeu às especificações normativas aos 7 dias, somente aos 28 dias, esse fator pode ser explicado pelo fato que o cimento adquire uma maior resistência aos 28 dias.

Após os resultados verificou-se que os valores abaixo da resistência encontrados podem estar relacionados ao fato de que antes da ruptura, os tijolos devem ser imersos em água por no mínimo 6 horas. Pitta e Nascimento (1983), ressalta que esse processo compromete o desempenho dos componentes devido à sua saturação em água. Os mesmos autores propõem que se façam ajustes à essa norma quanto a metodologia e que a imersão em água, antes da ruptura, dos blocos ou tijolos que contenham cimento, independentemente do tipo de solo utilizado, seja eliminada.

Outro fator que pode ser identificado como causa da baixa resistência à compressão é a compactação da mistura. Os tijolos são fabricados com prensas manuais e não há como medir e padronizar a compactação que cada tijolo produz na mistura. Isso pode indicar uma compressão irregular na máquina (AKAMATSU; ROSS, 2017).

## 5 CONCLUSÕES

O propósito deste trabalho foi analisar a influência do desempenho mecânico da fibra de coco adicionadas nos tijolos de solo-cimento. Este estudo foi motivado pela importância socioeconômica do cultivo do coco no Brasil. Além disso, o uso dessa fibra natural na construção civil agrega valor a um produto cujo principal país produtor é o Brasil.

Os traços 0,25% e 0,50% apresentaram uma diminuição na resistência a compressão de 41,10% e 28,75% e um aumento na absorção de água de 0,88% e 1,90%. Já o traço de 1% apresentou um aumento de 15,53% na resistência a compressão e de 14,84% na absorção de água no tempo de 28 dias em comparação ao traço de 0%.

O ensaio de absorção de água apresentou valores satisfatórios, sendo que a absorção de água aumentou, conforme foi adicionado mais fibra.

Os tijolos confeccionados com a adição da fibra de coco com percentual de 1% proporcionaram um aumento na resistência à compressão simples em relação aos tijolos comuns, atendendo a resistência exigida na norma. Os outros tijolos com teores diferentes também tiveram a resistência inferior ao requerido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) que estabelece uma média de 2,0 MPa, aos 7 e 28 dias de cura. Através dos dados observa-se que a resistência a compressão foi maior conforme aumentou os dias de cura.

A produção dos tijolos ecológicos requer certa atenção, principalmente na determinação do comprimento da fibra para se evitar o surgimento de fissuras que levem à má qualidade do tijolo. Através dos resultados é aconselhável que se continue os estudos, pois os tijolos de solo-cimento com fibra de coco mostra-se uma alternativa plausível para se resolver o problema ambiental relacionado ao coco, reduzindo sua disposição por não ter um descarte adequado em aterros sanitários.

### 5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Fabricar os tijolos com a mesma metodologia empregada;
- Utilizar um traço com uma quantidade maior de porcentagem de fibra de coco que possibilite obter valores mais altos de resistência a compressão;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. BT-111: **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual, 16p. São Paulo, 2000.

\_\_\_\_\_.BT-106: **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. 28 p. São Paulo, 2002.

\_\_\_\_\_. ET-35: **Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3.ed. atual. Revisada pelo Eng. Márcio Rocha Pitta. 63p. São Paulo, 2004.

\_\_\_\_\_.ET-117: **Solo-cimento e suas aplicações rurais**. 2.ed. 28p. São Paulo, 1996.

ABNT. NBR 6457:2016 – **Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. 8p. Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira. NBR 6458:2016 – **Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. 10p. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 6459: **Solo: determinação do limite de liquidez**. 3p. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 6502: **Rochas e solos**. 40p. São Paulo: ABNT, 1995.

\_\_\_\_\_.NBR 5712: **Bloco vazado modular de concreto**. 2p. Rio de Janeiro. 1982.

\_\_\_\_\_. NBR 7180: **Solo – determinação do limite de plasticidade: método de ensaio**. 3p. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 7181: **Solo: análise granulométrica**. 1p. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 8491: **Tijolo de solo-cimento — Requisitos**. 6p. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_.NBR 8492: **Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio**. 4p. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 10833: **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. 3p. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 10834: **Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos**. 5p. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 10836: **Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio**. 4p. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_.NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR NM ISO 3310-1. **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação**. 20p. Rio de Janeiro, 2010.

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

ABDULLAH, A.; JAMALUDIN, S. B.; NOOR, M. M.; HUSSIN, K. **Composite Cement Reinforced Coconut Fiber: Physical and Mechanical Properties and Fracture Behavior**. 2011. School of Materials Engineering, Universiti Malaysia Perlis.

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

ALI, M. **Coconut fibre: A versatile material and its applications in engineering**. 2011. Structure Design Section, National Engineering Services Pakistan Islamabad Office, Pakistan.

ALMEIDA, G. **Caracterização física e classificação dos solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de engenharia. Departamento de transportes, 2005.

AKAMATSU, C.; ROSS, N. C. M. **Estudo da aplicação para lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos**. 2017. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

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

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

BELUSSO, A. **Avaliação da Influência do Teor de Cimento Portland na Durabilidade e Resistência de um Solo Argiloso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Área de Conhecimento das Exatas e Engenharia, Caxias do Sul, 2018.

BETSUYAKU R. Y. **Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea**. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda, 2015.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose based fibres**. Progress in polymer science, v. 24, n. 2, p. 221-274, 1999.

BRAINER, S. **Produção de coco: o Nordeste é um destaque nacional**. Caderno setorial ETENE. n. 61, dez. 2018.

CABALA, G. V. E. **Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo-cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambum**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal-RN, 2007.

CABRAL, M. *et al.* **Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos**. ENGEVISTA, v. 19, n.1, p. 99-108. 2017.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.,v. 1, LTC, 2015. 256 p.

CARRIJO, A.; LIZ, S.; MAKISHIMA, N. **Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, dezembro 2002.

CASTILHOS, Lisiane Fernanda Fabro de. **Aproveitamento da fibra de coco Insituto de Tecnologia do Paraná**. Paraná: Tecpar, 2011. 29 p.

CASTRO, S. F. **Incorporação de resíduo de caulim para uso em solo-cimento em construções civis**. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB. 2008.

CAVALCANTE, L. **O agronegócio do coco no brasil e a territorialização do capital**. Revista Pegada, vol. 19. n.3, p. 117-143. 2018.

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

CLAUS, C. **Ciência das fibras: coco**. 2010. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/38712098/Fibra-do-coco>> Acesso em: 18 nov. 2021.

CONSOLI, N. C.; VENDRUSCOLO, M. A.; PRIETTO, P. D. M. **Behavior of Plate Load Tests on Soil Layers Improved with Cement and Fiber**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, New York: ASCE, v.129, n.1, p.96-101, 2003.

CORDEIRO, C. R.; MACHADO, V. C. **Sustentabilidade na fabricação do tijolo solo-cimento: estudo comparativo com blocos convencionais**. 2017. TCC (Graduação) – Faculdade de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Aparecida de Goiânia, 2017.

CORREIA, M. **Árvore do conhecimento: coco**. AGEITEC EMBRAPA, Aracajú, 03 ago. 2012. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/coco/arvore/CONT000giw3qz5o02wx5ok05va dr1u5iye30.html>> Acesso em: 18 nov. 2021.

CRUZ, R. C. **Influência de Parâmetros Fundamentais na Rigidez, Resistência e Dilatância de uma Areia Artificialmente Cimentada**. 2008. 216p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre.

DA FONSECA, M.G. Tijolos de cinzas. **Cinza de carvão mineral e cinza de casca de arroz. Alternativas tecnológicas na fabricação de novos elementos construtivos para alvenarias**. In: ENTAC 93- Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 1993. Anais, Vol.1. São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1993. p. 153-160.

DAS, Braja M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo: Ligia Cosmo Cantarelli, 2007.

DIAS, J. N. et al. **Conhecimento, Pesquisa e Inovação em Administração e Engenharia Civil**. In: FONTENELE (Ed.). 1. ed. Jaraguá, GO: [s.n.]. p. 21–28. 2019.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação dos solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

ESMERALDO, M. A. **Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural**. Dissertação (Mestre em Química Inorgânica) - Departamento de química orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

FERRAZ, A. L. N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento**. Ilha Solteira: UNESP, 2004. 25p. Dissertação Mestrado.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. Estudo da adição de resíduos de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento. **Anais...** I Conferência latino-americana de construção sustentável x encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2004.

FILHO, J. A. A. S. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industriais**. 2007. 247 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2007.

FOPPA, D. **Análise de Variáveis-Chave no Controle da Resistência Mecânica de Solos Artificialmente Cimentados**. 2005. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre.

FRANCO, G.B. *et al.* **Classificação Geotécnica dos Solos da Bacia do Rio Almada – Bahia**. Caminhos de Geografia, v. 13, p. 42-49, 2012.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. **Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres**. Cement and Concrete Composites. v. 21, n. 1, p. 39- 48, 1999.

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

GRANDE, F. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. São Carlos, 2003. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/pt-br.php>>. Acesso em: 19 nov. 2021.

HABITARE. **Programa de Tecnologia de Habitação. FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos**. 2013. Disponível em: <[http://www.habitare.org.br/publicacoes\\_proposta.aspx](http://www.habitare.org.br/publicacoes_proposta.aspx)>. Acesso em: 10 de nov. 2021.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático de Produção Agrícola**. 2020. Disponível em:<[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/6/lspa\\_pesq\\_2000\\_dez.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/6/lspa_pesq_2000_dez.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2021.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

JARFEL. Disponível em:<<https://www.jarfel.com.br/informativos/tijolo-ecologico-solo-cimento.php>>. Acesso em 19 nov. 2021.

JESUS, Andrelisa Santos de. **Investigação Multidisciplinar de processos erosivos lineares: estudo de caso da cidade de Anápolis- GO**. 2013. Tese (Doutorado em Geotecnia) –

Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

KORMANN, A. C. M. **Ensaio de compactação e caracterização**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997. 29 p. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/26429231-Alessander-c-morales-kormann.html>> Acesso em: 19 nov. 2021.

LEITE, J. C. P. S.; NETO, M. T. R. **Meio Ambiente e os Embates da Construção Civil**. Construindo, v. 6, n. 2, p. 40–49, 2014.

LIMA, R. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. Campina Grande, 2010. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2835>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

LIMA, S. C. da S. *et al.* **Tijolos do tipo solo-cimento incorporados com resíduos de borra de tinta proveniente do polo moveleiro de UBA**. Fortaleza, 2015.

LIMA, U. T. G. M. **Uso da fibra do resíduo de coco verde na produção de tijolos ecológicos**. Dissertação (mestrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Curso de Gestão Ambiental, 2020.

MACEDO, M. M. **Solos, modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2004.

MARJABA, G. E.; CHIDIAC, S. E. **Sustainability and resiliency metrics for buildings - Critical review**. Building and Environment, v. 101, p. 116–125, 2016. Disponível em <<https://sci-hubtw.hkvisa.net>> Acesso em 12 set. 202

MARTINS, C. R.; JÚNIOR, L. A. J. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: Panorama 2014**. 2014. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju. Disponível na internet via: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item122994/1/Producao-e-comercializacao-Doc-184.pdf>>. Acesso 25 de Junho de 2021.

MATTOS, A; ROSA, M; CROSÓSTOMO, L; BEZERRA, F; CORREIA, D; VERAS, L. **Beneficiamento da Casca de Coco Verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011.

MIELI, P. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003721.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2021.

MORAIS, M. B. *et al.* **Análise de viabilidade de aplicação do tijolo ecológico na construção civil contemporânea**. Montes Claros, 2014.

MOTTA, J. C. S. S. *et al.* **Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação.** Rem: Rev. Esc. Minas [online]. 2011, vol.64, n.2, pp. 147-154.

NASCIMENTO, C. M.; GALVÃO, A. P. **Compósito de solo-cimento reforçado com mesocarpo do coco para alvenaria de vedação em habitação popular.** In: 22º CBECIMAT – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Natal, 22, Natal, 2016. Disponível em: < <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/216-055.pdf>>. Acessado em 8 de set. de 2021

NASCIMENTO, C. M. **Estudo da fibra de coco como reforço em tijolo de solo-cimento.** 2011. 8 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto.** 2, ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 472 p.

OLIVEIRA, R. F. V. d. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos.** Ouro Preto, 2011.

OLIVEIRA, C. **Avaliação de solo-cimento reforçado com fibras do coco de babaçu para produção de tijolo modular ecológico.** Marabá, 2011.

OLIVEIRA, S. M. **Avaliação dos blocos e tijolos cerâmicos do estado de santa catarina.** 1993. 164 f. Pós-Graduação – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 1993.

PALACIOS, M. A. P. **Comportamento de uma Areia Reforçada com Fibras de Polipropileno Submetida a Ensaios Triaxiais de Extensão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

PALMEIRA, E. M. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

PANNIRSELVAM, P. V. *et al.* Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 15, p. 56-61, mar. 2005.

PCA – Portland Cement Association. **Soil-cement construction handbook.** Illinois, 1969. 42p.

PEREIRA, L. A. F. **Utilização da fibra de Sisal para produção de Tijolos Ecológicos: Uma análise físico-mecânica.** 2018. 72 f. Monografia (Conclusão de curso) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rural do Semi-Árido– UFERSA, Mossoró, Rio Grande do Norte, 2018.

PINTO, C. **Curso básico de Mecânica dos Solos**, 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, L. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil.** Santa Maria, 2015.

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

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

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

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

PISANI, J. A. Sustainable development – historical roots of the concept. **Environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 83-96, 2006.

PISSATO, E.; SOARES, L. **Utilização de finos pedreira em misturas de solo-cimento: correção granulométrica de um solo argiloso**. Exacta, São Paulo, v. 4, n.1, p. 143-148. 2006.  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Soil-cement construction handbook**. Illinois, 1969. 42p.

RAJ, S. **Coconut fibre-reinforced cement-stabilized rammed earth blocks**. 2017.  
Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Agartala, Índia.

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

RIBEIRO, Lincoln Ronyere Cavalcante. **Processo de produção e viabilidade do tijolo modular de solo-cimento na construção civil no estado do RN**. 2013. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

ROCHA, A. F. **Estudo Experimental Sobre Misturas de Solo-Cimento para a Região de Campo Novo do Parecis, MT**. Dissertação de Mestrado. São Carlos - SP: Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP, 1996.

RODRIGUÊS, M. S.; AMARAL, R. B. S. **Estudo experimental do uso das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto na fabricação de tijolo de solo-cimento**. p. 67, 2019.

ROSSI, C. T. **Análise técnica dos tijolos maciços e blocos cerâmico de vedação 6 furos produzidos na região da grande santa rosa - Rs**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2017.

SALA, I. G. **Proposta de habitação sustentável para estudantes universitários**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2006.

SANTOS, E. C. O. B.; CHAVES JÚNIOR, J. M. **Mitigação de impactos ambientais através do uso de materiais de construção ecológicos**. Estudo de caso: tijolos ecológicos

**comparados a tijolos cerâmicos.** 2018. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Anápolis, Anápolis- Go, 2018.

SAMPAIO, G. **Estudo interdisciplinar da viabilidade de aplicação do tijolo de solo-cimento na construção civil: economia aliada à sustentabilidade.** Lorena, 2015.

SAVASTANO JR, H. AGOPYAN, V. OLIVEIRA, L. **Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios.** Jaboticabal, Engenharia Agrícola, v. 17, n. 1, p. 113-124. 1997.

SEGANTINI, A. A. S.; ALCANTARA, M. A. M. Solocimento e solo-cal. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios da ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. v. 2, p. 834-861.

SILVA, F. H. R. F. *et al.* **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil.** Brasília, 2015.

SILVA, S. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira.** Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/239M.PDF>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

SCHWARZ, R.A. **Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das Missões - RS.** Porto Alegre, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1977, 130p.

SOUSA. M.; MENESES. J. REVISTA DA ANICER. Pandemia aquece vendas de blocos cerâmicos. **Revista da anicer**, 2020 Disponível em:<<https://revista.anicer.com.br/pandemia-aquece-vendas-de-blocos-ceramicos/>>. Acesso em 19 nov. 2021.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, Antonio A. S.; PEREIRA, Joelma. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n. 2, p. 205-212, dez. 2008.

TAVARES, A.; CELIO; XAVIER, T.; EDUARDO; BONADIO, Juan; EVERALDO, José. **Concreto com Adição de Fibra da Casca de Côco Verde.** São Paulo: ETEC, 2012.

TOLEDO Filho, R. D.; England, G. L.; Ghavami, K. **Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v.1, p.79-88, 1990.

THOMÉ, A.; DONATO, M.; CONSOLI, N. C.; GRAHAM, J. Circular Footings on a Cemented Layer Above Weak Foundation Soil. *Canadian Geotechnical Journal*, v.42, n.6, p.1569-1584, 2005.

TIJOLO de solo-cimento. **Portal Educação**, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/iniciacao-profissional/tijolo-de-solo-cimento/40435>. Acesso em: 14 nov. 2018.

VALE, A. C.; SOARES, J. B.; CASAGRANDE, M. D. T. Aplicabilidade de fibras de coco em misturas asfálticas tipo SMA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 4., 2007, Campinas. **Resumos...** Campinas: ABPG, 2007. Disponível em: Acesso em: 19 nov. 2021.

VIEIRA, A; CECHINELA, B; DEGHEHARDA, C; MAGNUSA, D; HOLTHAUSENA, R; TASSIA, R; MODESTOA, C; JUNIOR, A; CARGNINA, M. **Estudo do processo de obtenção e caracterização de tijolos solo-cimento.** 2007. Santa Catarina. 2007.

VIEIRA, J. P. **Interação Cimento Superplastificante: avaliação da estabilidade do comportamento.** Dissertação (mestrado). Universidade Técnica de Lisboa. Curso de Engenharia Civil, 2010.

YANG, Y.; DENG, Y.; LI, X. Uniaxial compression mechanical properties and fracture characteristics of brucite fiber reinforced cement-based composites. **Composite Structures**, v. 212, n. March 2018, p. 148–158, 2019.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Ensaio de análise granulométrica.

<b>PENEIRAMENTO</b>					
Peneiras		Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passante
#	mm				
2"	50	0	0	0	100
1/2"	38	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
4	4,8	0	0	0	100
10	2,0	49,84	50,76	50,76	49,24
16	1,2	18,39	7,39	7,39	92,61
30	0,6	35,63	14,31	21,70	78,30
40	0,42	13,93	5,59	27,29	72,71
50	0,25	23,25	9,34	36,63	63,37
100	0,15	24,02	9,65	46,27	53,73
200	0,075	75,42	30,29	76,57	23,43

### APÊNDICE B – Determinação do limite de liquidez e plasticidade.

<b>LIMITE DE LIQUIDEZ – ABNT NBR 6459:2016</b>					
Cápsula	Nº	1	2	3	4
Golpes	g	20	23	30	35
Cápsula + Solo + Água	g	23,83	22,92	22,42	25,93
Cápsula + Solo	g	21,05	20,59	20,09	22,90
Peso da cápsula	g	10,59	11,63	10,97	10,59
Peso da água	g	2,78	2,33	2,33	3,03
Peso do solo seco	g	10,46	8,96	9,12	12,31
Umidade	%	26,58	26,00	25,55	24,61
Limite de liquidez	%	<b>26,82</b>			
<b>LIMITE DE PLASTICIDADE – ABNT NBR 7180:2016</b>					
Cápsula	Nº	1	2	3	4
Cápsula + Solo + Água	g	12,78	13,58	14,56	15,39
Cápsula + Solo	g	12,37	13,00	14,13	14,88
Peso da cápsula	g	10,52	10,90	12,27	12,66
Peso da água	g	0,41	0,58	0,43	0,51
Peso do solo seco	g	1,85	2,10	1,86	2,22
Umidade	%	22,16	27,62	23,12	22,97
Limite de plasticidade	%	<b>23,97</b>			

## APÊNDICE C – Umidade hidrocópica.

<b>TEOR DE UMIDADE – ABNT NBR 6457:2016</b>				
Cápsula	Nº	1	2	3
Cápsula + Solo + Água	g	15,74	15,64	17,33
Cápsula + Solo	g	15,46	15,34	16,94
Peso da cápsula	g	10,74	10,64	12,33
Peso da água	g	0,28	0,30	0,39
Peso do solo seco	g	4,72	4,70	4,61
Umidade	%	5,93	6,38	8,46
Umidade média	%	<b>6,93</b>		

## APÊNDICE D – Determinação da massa específica real dos grãos.

<b>DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA – ABNT NBR 6458:2016</b>			
Picnômetro	Nº	1	2
Massa do solo seco	g	50	50
Massa picnômetro	g	178,11	178,11
Massa picnômetro + Água		674,98	674,98
Massa picnômetro + Solo + Água	g	697,52	698,74
Temperatura	°C	27	27
Massa específica da água a Temperatura de ensaio	g/cm <sup>3</sup>	0,9965	0,9965
Massa específica dos grãos do solo	g/cm <sup>3</sup>	1,814	1,899
Média	g/cm <sup>3</sup>	<b>1,857</b>	
Verificação	-	<b>0,085</b>	