

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETOS SUSTENTÁVEIS, MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS E MERCADO DE CARBONO**

**ROBSON DE JESUS SANTOS**

**ANÁLISE NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO  
INCORPORANDO SACOS DE CIMENTO NA SUA COMPOSIÇÃO**

**CURITIBA**

**2020**

**ROBSON DE JESUS SANTOS**

**ANÁLISE NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO  
INCORPORANDO SACOS DE CIMENTO NA SUA COMPOSIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono.

Orientador: José de Almendra Freitas Junior

**CURITIBA**

**2020**

## **AGRADECIMENTOS**

A deus pelo dom da vida.

Aos meu pais que sempre estiveram apoiando e sempre me conduziram e incentivaram a aproveitar o melhor da vida.

A minha esposa Fernanda, que se encontra ao meu lado há 13 anos sempre apoiando e presente em cada conquista.

Aos meus irmãos Claudia e Roberto por sempre estarem disponíveis no que for preciso.

As minhas filhas Sofia e Margot que me ajudam a perceber a maravilha que é viver e a importância de estar presente.

## RESUMO

Atualmente existem vários estudos sobre materiais e técnicas que buscam baixo impacto ambiental, o termo desenvolvimento sustentável e responsabilidade socioambiental está sendo cada vez mais discutido e a construção civil segue como um dos grandes emissores de gases de efeito estufa. Desta forma, se faz necessário estudar novas adequações em técnicas construtivas com o objetivo de reduzir os impactos ambientais. O uso de tijolos de solo-cimento já é considerado um método construtivo mais barato do que o convencional, visto que, o solo é abundante, além disso, diferente de outros tijolos de vedação que são queimados, ele é prensado, evitando emissão de poluentes nesse processo. O papel Kraft utilizado nas embalagens de cimento é descartado em grandes proporções e nem sempre tem um destino adequado. Esse trabalho tem como objetivo a confecção de tijolos de solo-cimento com adição de papel Kraft em proporções diversas, afim de atestar a interferência em suas dimensões e no nível de resistência a compressão. Os resultados obtidos indicam que o solo-cimento com adição de papel Kraft é de fato uma alternativa considerável, que contribui para o destino final do papel e que pode-se reduzir o custo consideravelmente sem interferir na resistência do tijolo. Espera-se que os resultados apresentados nessa dissertação contribuam para aumentar e difundir mais conhecimento sobre a técnica de produção de tijolos de solo-cimento com adição de fibras de papel Kraft.

**Palavras-Chaves:** Tijolo ecológico; Construção Alternativa; Papel Kraft;

## ABSTRACT

Currently, there are several studies about materials and techniques to reduce environmental impact. The terms sustainable development and socio-environmental responsibility are being increasingly discussed due to the environmental consequences caused by all economic sectors, and civil construction area continues as a big emitters of greenhouse gases. Thus, it's necessary to study new adaptations in construction techniques in order to reduce environmental impacts. The use of cement-soil bricks is already considered a constructive method cheaper than conventional one, seen as a main material, the soil, it's abundant and allows the use of techniques as a constructive method of sealing masonry that occurs by allowing the projects' dimensions adaptation to their morphologies, in addition, unlike other sealing bricks that are burned, it is pressed, prevents the emission of pollutants in this process. The Kraft paper used in cement packing is discarded in large proportions and never has a suitable destination. This work aims to make cement-soil bricks with the addition of Kraft paper in different proportions, in order to attesting the interference in their dimensions and level of resistance to compression (according to ABNT rules). The results obtained indicate the cement-soil with the addition of Kraft paper is a considerable alternative factor, which can be applied to the final destination of the paper and, with a certain trace, reduce costs without interfering substantially in brick resistance, being necessary other tests with observance of other requirements according to the norm, seeking technical quality and efficiency. It's expected the results presented in this dissertation will contribute to increase and spread more knowledge about the technique of producing cement-soil bricks with the addition of Kraft paper fibers.

**Key-words:** Ecological Bricks; Alternative Construction; Kraft Paper.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 1 = 1:7).....	42
Tabela 2 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 2 = 1:0,5:7).....	43
Tabela 3 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 3 = 1:1:7).....	43
Tabela 4 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 4 = 1:2:7).....	43
Tabela 5 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 5 = 1:10,5).....	43
Tabela 6 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 6 = 1:1:10,5).....	44
Tabela 7 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 7 = 1:2:10,5).....	44
Tabela 8 - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 8 = 1:3:10,5).....	44
Tabela 9 - Comparativo de resistência a compressão.....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição do tijolo solo-cimento .....	17
Figura 2 - Economia na construção com tijolo solo-cimento em relação a construção convencional.....	18
Figura 3 - Percentual indicado de areia e argila/silte na produção de tijolos de solo-cimento.....	21
Figura 4 - Vendas de cimento no Brasil.....	23
Figura 5 - Fluxograma do processo de produção e ensaios de tijolo com e sem adição de papel Kraft.....	27
Figura 6 - Captação das embalagens de cimento 50kg.....	28
Figura 7 - Limpeza das embalagens com objetivo de retirada de resquício do cimento.....	28
Figura 8 - Fragmentação do papel seco.....	29
Figura 9 - Imersão do papel fragmentado em água.....	30
Figura 10 - Liquidificador doméstico utilizado para produzir a poupa.....	30
Figura 11 - Polpa de celulose.....	31
Figura 12 - Terra, areia para correção do solo e cimento.....	32
Figura 13 - Peneira manual.....	33
Figura 14 - Traços propostos.....	34
Figura 15 - Traço com adição de papel Kraft.....	35
Figura 16 - Triturador.....	36
Figura 17 - Prensa manual Verde Equipamentos.....	37
Figura 18 - Tijolos em processo de cura.....	37
Figura 19 - Corte de tijolo ao meio para ensaio de compressão.....	38

Figura 20 - Ilustração dos corpos de prova preparados a partir de tijolos maciço e vazado com duas metades invertidas superpostas.....	39
Figura 21 - Corpos de prova. ....	39
Figura 22 - Prensa hidráulica para resistência a compressão. ....	40
Figura 23 - Medição com paquímetro para teste dimensional. ....	41
Figura 24 - Corpos de prova submetido a ensaios de resistência a compressão.....	45
Figura 25 - Ensaio dimensional de tijolos. ....	46

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	12
1.2. OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. Justificativa .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4. Estrutura do trabalho .....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1. HISTÓRIA DO USO DO SOLO NA CONSTRUÇÃO .....	16
2.2. TIJOLO SOLO-CIMENTO .....	16
<b>2.2.1. Solo.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2. Estabilização do solo – Cimento Portland .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3. Água .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4. Correção do solo .....</b>	<b>21</b>
2.3. INDÚSTRIA DO CIMENTO .....	22
<b>2.3.1. História do cimento .....</b>	<b>22</b>
2.4. ADIÇÃO DE COMPONENTE NO SOLO-CIMENTO .....	23
<b>2.4.1. Embalagens de papel Kraft .....</b>	<b>24</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
3.1. CAPTAÇÃO DOS SACOS DE CIMENTO/ARMAZENAGEM .....	27
3.2. PREPARAÇÃO DO PAPEL .....	28
<b>3.2.1. Polpa de Celulose.....</b>	<b>28</b>
3.3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO .....	31
<b>3.3.1. Correção do Solo .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2. Peneiramento do solo .....</b>	<b>32</b>
3.4. ESCOLHA DO CIMENTO PORTLAND .....	33
3.5. TRAÇOS .....	33

3.6. PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS TIJOLOS .....	35
<b>3.6.1. Mistura dos Materiais .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6.2. Prensagem dos Tijolos .....</b>	<b>36</b>
<b>3.6.3. Cura .....</b>	<b>37</b>
3.7. ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	38
<b>3.7.1. Resistência compressão simples .....</b>	<b>38</b>
<b>3.7.2. Ensaio dimensional.....</b>	<b>41</b>
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1. Ensaio à compressão simples com e sem adição de Papel Kraft .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2. Ensaio dimensional.....</b>	<b>45</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Entre os sérios problemas da atualidade enfrentados pela gestão ambiental, podemos destacar o impacto causado pela geração de resíduos sólidos da construção civil e também o descarte irregular na natureza. Entre os vários materiais de construção que são descartados na natureza podemos citar as embalagens de cimento e cal que são de papel Kraft multifoliados, após a utilização dessas embalagens nas obras, estas são na sua maioria descartadas de maneira inadequada, gerando uma grande quantidade de resíduo. As embalagens possuem potencial para serem reaproveitadas ou recicladas (BUSON, 2009).

Desta forma, este trabalho fundamenta-se essencialmente nas estratégias de não geração, minimização, reutilização, reciclagem e descarte adequado dos resíduos, primando pelas estratégias de redução da geração de resíduos na fonte (NAGALLI, 2014)

A utilização de fibras, como reforço de produtos à base cimento, tem sido objeto de estudo e despertado grande interesse em diversos países, sendo esse fato atribuído à sua abundância, baixo custo, propriedades mecânicas úteis, e às questões ambientais. Assim sendo, o melhor entendimento acerca da influência da adição de fibras nesse tipo de material torna-se um fator essencial para a escolha e identificação do melhor tipo e quantidade de fibras a serem inseridas em cada compósito, de modo a se obter melhorias nas características mecânicas e ou físicas desse.

Existem estudos anteriores com fibras celulósicas de origem natural apontaram para o bom comportamento de matrizes cimentícias reforçadas com essas fibras. Como exemplo cita-se as obras de Savastano (2000) que estudou materiais à base de cimento reforçados com fibras vegetais e Resende (2011) que avaliou o uso de argamassas com fibras de papel Kraft também provenientes de embalagens de cimento.

O tijolos de solo-cimento com adição de fibras provenientes de processos de reciclagem de embalagens de papel Kraft começou a ser mais estudado recentemente.

As embalagens de cimento geralmente não são recicladas, visto que essas, uma vez em contato com esses materiais, tornam-se contaminadas, dificultando assim sua correta destinação. Essas embalagens são um dos diversos resíduos gerados pela construção civil, que é umas das maiores geradoras de resíduos sólidos, e de acordo com Carvalho e Santos (2011).

Apesar dos dados de retração no consumo do cimento no Brasil, segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) ainda segue com mais de 50 milhões de toneladas por ano, o que corresponde a mais de 100 mil toneladas de resíduos provenientes das embalagens do cimento, considerando que cada saco de cimento de papel Kraft com capacidade de 50kg pesa em torno de 150g conforme Teixeira (2017).

Além do Kraft do saco de cimento, deve ser somado os sacos de cal que é amplamente empregado na construção civil, utilizado principalmente como composto para liga em reboco e emboço, de acordo com a resolução nº 307 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, os sacos de cimento e de cal, são classificados como resíduo classe B e devem ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário.

O estudo da adição de fibras de provenientes de embalagens de cimento como reforço de matriz cimentícias, é uma proposta para o desenvolvimento de novos materiais de construção, e ao mesmo tempo um meio de reduzir a quantidade de resíduos gerados por essa atividade econômica de grande relevância no país.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral foi comparar a resistência entre o tijolo convencional de solo-cimento com determinados traços e o tijolo com adição de Papel Kraft nos mesmos traços, verificando um possível ganho de resistência, conseqüentemente economia.

Para tal deverá incluir o novo componente, o papel Kraft proveniente do saco de cimento Portland, ao tijolo de solo-cimento conhecido também como tijolo ecológico, afim de melhorar a qualidade física e mecânica do tijolo, além de reduzir o custo uma vez que com as fibras do papel espera-se aumento da resistência, podendo assim reduzir a quantidade de cimento no traço, reduzindo o impacto ao meio ambiente ao tempo que também conseguiremos fixar carbono.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Definir o traço recomendado do ponto de vista custo/resistência entre os diferentes traços avaliados a partir de ensaios em laboratório, de forma que atenda a NBR 8491 e NBR 8492.
- Examinar a viabilidade do uso do papel Kraft do ponto de vista ambiental que é utilizado em abundância na indústria do cimento e que geralmente não tem um descarte adequado por ser de difícil reciclagem em função da sobra do cimento que fica em seu interior da embalagem do cimento.

### **1.3. Justificativa**

Esse trabalho tem como justificativa a procura por uma destinação adequada para as embalagens de papel Kraft, através da adição suas fibras em forma de polpa na fabricação de tijolo de solo-cimento. Concomitantemente, espera-se um maior ganho de resistência com o uso da fibra na produção do tijolo, conseqüentemente reduzindo a quantidade de cimento e tornando-o mais econômico.

O saco de cimento é um dos maiores vilões residuais da construção civil e na maioria das vezes passa despercebido. Assim, a proposta apresentada neste trabalho é bastante pertinente no cenário atual, visto que são muito limitadas as soluções para

os resíduos dos sacos de cimento e de cal e o volume gerado é bastante relevante, sendo significativos os impactos ambientais causados pela incorreta destinação.

Também, é importante salientar que a terra é o material de construção mais importante e abundante e está disponível em grande parte do mundo. Cada vez mais as pessoas buscam edificações mais eficientes economicamente e energeticamente.

Esta obra apresenta bases teóricas relativas a estes materiais, além de fornecer orientações iniciais, baseadas em investigação científica e ensaios de laboratório.

#### **1.4. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, neste primeiro apresenta a introdução geral do tema, os objetivos, a justificativa da importância da pesquisa. No Capítulo dois trata da revisão bibliográfica, a qual aborda de forma geral o uso do solo-cimento, suas propriedades, o cimento utilizado para estabilização do solo e as características das fibras de papel Kraft.

O terceiro capítulo aborda metodologia utilizada na confecção dos tijolos aqui estudados, bem como os traços propostos e a metodologia de análise e avaliação desses tijolos. No capítulo seguinte, o quarto, foram apresentados os resultados obtidos na realização de cada um dos ensaios propostos, bem como a interpretação, avaliação acerca desses. Por fim, o Capítulo cinco apresentou as conclusões sobre os experimentos expostos nesse trabalho.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. HISTÓRIA DO USO DO SOLO NA CONSTRUÇÃO

Segundo Minke, (2000), as técnicas de construção com terra são conhecidas há mais de 9.000 anos. A terra foi usada como o material de construção em todas as culturas antigas, não apenas em casas, mas também em edifícios religiosos como vemos.

O uso da terra como matéria para construção surge no começo da história da humanidade. E seu uso é visto nas várias civilizações, existem construções com mais de 2.500 anos, as abóbadas do túmulo de Ramsés II foi construído com tijolos de barro.

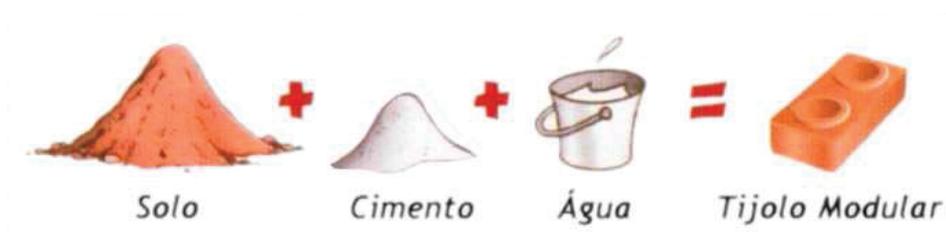
Na China foi utilizado na grande muralha, na Alemanha utilizou-se a terra para revestimentos. Já na África praticamente todas as mesquitas foram construídas de terra.

Segundo Houben e Guillaud (1994), desde que os homens começaram a construir casas e cidades, a terra vem sendo um dos principais materiais de construção utilizados no mundo, para edificar cidades inteiras, palácios e templos, igrejas e mesquitas, armazéns e castelos, praças fortificadas e soberbos monumentos.

No Brasil a terra foi bastante utilizada até o século XVIII, principalmente em locais onde não havia muita pedra, as muralhas da cidade de Salvador eram em Taipa, assim como a casa forte construída por Caramuru em 1540, Santiago, (2001). Construções em Minas Gerais Cuiabá, São Paulo e Goiás, ainda existem vestígios de arquitetura de Terra.

### 2.2. TIJOLO SOLO-CIMENTO

Conforme NBR 11798/2012, solo-cimento é resultado da mistura de solo, cimento, areia e água (FIGURA 1).



**Figura 1** - Composição do tijolo solo-cimento  
Fonte: sahara.com.br, (2020).

Esses materiais são prensados em equipamento manual ou hidráulico, seu processo de fabricação não exige queima em forno à lenha, essa é uma das grandes vantagens em relação ao bloco cerâmico, pois evita desmatamentos e refletem em menores emissões de CO<sub>2</sub> e menor contribuição ao aquecimento global.

Abaixo está relacionado as principais vantagens do tijolo ecológico segundo ABCP (1986):

- a) Economia relacionada à disponibilidade do solo: uso intenso de material local reduzindo custos com transporte, importação de materiais e fabricação;
- b) Potencial social: alocação de recursos humanos locais na fabricação de blocos ou painéis monolíticos;
- c) Resistência: obtenção de material com resistência à compressão simples de até 5MPa, com pequenas quantidades de cimento;
- d) Durabilidade: elevada durabilidade verificada em testes de desgaste por ciclagem seca e úmida, em consequência de uma menor permeabilidade;
- e) Absorção e a perda de umidade: não causam variações volumétricas consideráveis;
- f) Permeabilidade em água: O material não se deteriora quando submerso em água;

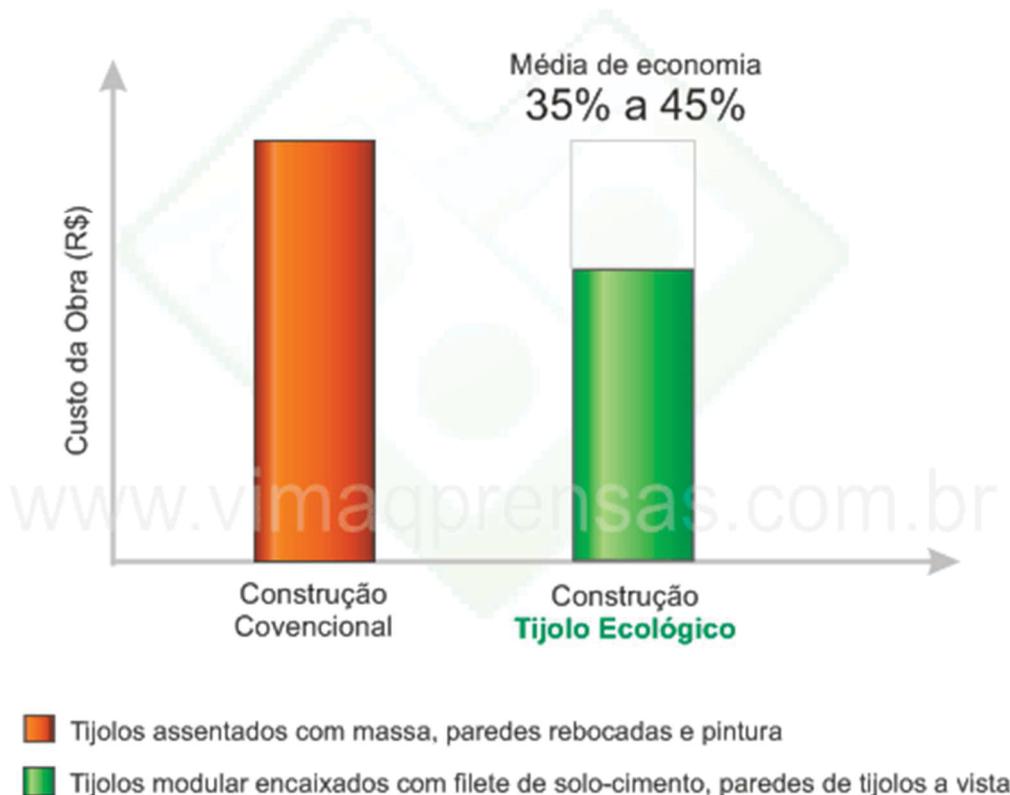
g) Calorimetria: Conforto térmico devido a não utilização de materiais térmicocondutivos e a boa entropia do material;

h) Ecologicamente correto: redução no consumo de energia elétrica pela minimização de uso de material cozido ou derrubada de árvores, evitando a liberação de gases poluentes ao meio ambiente;

i) Revestimento: Dispensa do revestimento, reduzindo o tempo de execução da obra.

As vantagens do tijolo de solo-cimento vão além das ambientais, servindo também para a economia no processo construtivo, no conforto e estética. Segundo a VIMAQ PRENSAS (2020), uma das principais vantagens é a economia de materiais como cimento, areia para reboque, ferragens, pintura, acabamento e mão de obra. Além de ser um material termo-acústico ecologicamente correto e trazer para a obra de 35 até 45% de economia com relação à construção convencional (FIGURA 2).

### Economia na construção com Tijolo Ecológico



**Figura 2** - Economia na construção com tijolo solo-cimento em relação a construção convencional.

Fonte: vimaqprensas.com.br, (2020).

### 2.2.1. Solo

O solo é uma material natural renovável definido como poroso. O solo tem como limite superior a atmosfera, embora alguns solos possam ter uma coluna de água sobreposta (permanente ou periódica), desde que não haja impedimento ao desenvolvimento de raízes de plantas adaptadas a essas condições. Os limites laterais são os contatos com corpos d'água superficiais, rochas, gelo, áreas com coberturas de materiais detríticos inconsolidados, aterros ou terrenos sob espelhos d'água permanentes. O limite inferior do solo é difícil de ser definido. Em geral, o solo passa gradualmente, em profundidade, para rocha dura ou materiais saprolíticos ou sedimentos que não apresentam sinais da influência de atividade biológica (EMBRAPA, 2018). Naturalmente as propriedades dos solos mudam de região para região, sofre interferência também de acordo ao clima local, a principal diferença, que é facilmente perceptível, é que em algumas regiões o solo é mais argiloso e em outras mais arenoso, porém, para obter-se uma maior precisão pode ser feito ensaios que definição percentual de areia, argila, material orgânico, material mineral, silte, sais, entre outras propriedades, para o nosso estudo as propriedades mais importantes é o teor de argila e areia.

Para Silva (2005), o solo é formado por três materiais básicos constituintes: argila, silte e areia. A argila é composta por argilominerais, materiais orgânicos e outros, e possui baixa granulometria, dimensões menores que 0,002 mm; e consistência terrosa (ABIKO, 1984). Esse material amplia o volume na presença da água e é responsável pela coesão do solo. Para mistura solo-cimento, seu teor no solo deve compor 5% no mínimo e não deve exceder 20%, uma vez que o exagero pode causar o aparecimento de fissuras durante a secagem, mediante a retração (DUARTE, 2013).

Os siltes são denominados de lodo ou limo e possuem partículas finas menores que o da areia e maior que o da argila, dimensões entre 0,002 e 0,06mm. O tamanho de suas partículas justifica a coesão dada ao solo, proporcionando maior densidade (DUARTE, 2013)

Por fim, a areia conhecida por quartzo- $\alpha$ , fase sem alterações sílica ( $\text{SiO}_2$ ), encontra-se em abundância (12%) na crosta terrestre (FRONDEL, 1962 apud

SAMPAIO, 2008). Para misturas de solo-cimento, esta fração granulométrica é a que proporciona a resistência à terra e contribui para a redução do aparecimento de fissuras por retração (DUARTE, 2013).

### **2.2.2. Estabilização do solo – Cimento Portland**

A utilização do solo como material de construção pode ocorrer tanto na forma como ele é encontrado na natureza ou decorrida a correção de algumas de suas propriedades de engenharia. Para essa correção podem ser empregados diversos métodos, entre os quais são citados a correção granulométrica e a adição de compostos químicos (FERRAZ, 2000).

A estabilização de solos através da incorporação de aditivo como o cimento, constitui um processo de tratamento com base em reações químicas entre as partículas do solo, a água e os materiais adicionados, resultando alterações no solo e originando um novo material com características diferentes e necessariamente aproximadas do que se pretende para a confecção de materiais para construção civil e rural (MILANI, 2008).

Cimento Portland é uma das substâncias mais consumidas pela humanidade na construção. Isso se deve ao fato de que suas características específicas o fazem agregar trabalhabilidade e moldabilidade, quando em estado fresco, bem como alta resistência à carga e ao fogo e durabilidade, quando em estado duro (ABCP, 2016). Assim, ainda segundo a ABCP (2016), na engenharia, pela sua versatilidade, o cimento é amplamente utilizável, tanto em edificações e residências, barramentos e canais hidráulicos, estradas, pontes, peças pré-moldadas e artefatos de cimento, entre tantas outras finalidades. Devido a seus aspectos técnicos e econômicos, é amplamente estudado, pesquisado e utilizado.

Finalmente, a Associação Brasileira de Cimento Portland (2009) refere que o cimento entra na proporção de 5 a 10% da massa da mistura de solo-cimento.

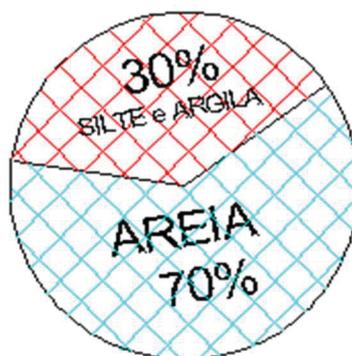
### 2.2.3. Água

A água nem sempre é tratada como componente importante na composição dum composto de massa, no entanto ela deve ser de boa qualidade, “a água de amassamento não deve conter substâncias orgânicas indesejáveis ou constituintes inorgânicos em quantidades excessivas” (NEVILLE, 2016).

É importante também lembrar que o uso da água não se restringe ao processo de mistura do emassamento, além disso, ela é utilizada na cura do tijolo de solo-cimento. Durante um determinado tempo o tijolo deve ser hidratado a fim de aumento da resistência, retardando a secagem do cimento. A água perdida internamente por auto dessecação (devido às reações químicas de hidratação do cimento) precisa ser repostada pela água do exterior (NEVILLE, 2016).

### 2.2.4. Correção do solo

Os solos adequados para a produção de tijolos ecológicos são os conhecidos por solos arenosos, ou seja, aqueles que oferecem uma quantidade de areia na faixa de 60% a 80% (FIGURA 3) da massa total da amostra considerada, quando não se atinge esse percentual, se faz necessário uma correção no solo. São aqueles em que a areia predomina. Este compõe-se de grãos grossos, médios e finos, mas todos visíveis a olho nu. Como característica principal a areia não tem coesão, ou seja, os seus grãos são facilmente separáveis uns dos outros (MIELI, 2009).



**Figura 3** - Percentual indicado de areia e argila/silte na produção de tijolos de solo-cimento. Fonte: Ceplac (2020)

## 2.3. INDÚSTRIA DO CIMENTO

### 2.3.1. História do cimento

O cimento segue como um dos materiais principais e mais utilizado na construção civil.

A grande versatilidade nas aplicações do Cimento Portland, nos distintos tipos de obras civis, explica seu grande consumo em âmbito mundial, com perspectiva de atingir, em 2.050, cerca de cinco bilhões de toneladas, segundo a Agência Internacional de Energia (Battagin, 2010).

Foi utilizado ao longo do tempo vários ligantes até chegar ao composto atual, Babilônios, Assírios, Egípcios com a introdução de argamassa na construção de pirâmides, já os romanos conseguiram produzir um cimento de melhor qualidade e durabilidade, uma exemplo de emprego do cimento em suas obras foram nos aquedutos, estruturas singulares que resistiram ao tempo.

Já o protótipo do primeiro cimento de argila e giz com alta capacidade cimentante, foi produzido em 1845 por Isaac Johnson. “O nome cimento Portland, atribuído originalmente devido a semelhança em cor e qualidade do cimento endurecido com a pedra de Portland é utilizado até hoje, em todo o mundo” (NEVILLE, 2016).

Historicamente o cimento tem mudado sua composição no sentido de alcançar melhores resultados, “a evolução do processo produtivo é dinâmica até os dias de hoje” (Battagin, 2010).

No Brasil, houve várias iniciativas para fabricação do cimento, até se chegar a um cimento de qualidade seguiu com uma série de fracassos; Durante esse período de testagem utilizou-se cimento importado, em 1924 foi implantada em Perus no estado de São Paulo a fábrica que é considerada marco da indústria brasileira de cimento.

A produção de cimento no Brasil foi oscilando gradativamente em função do grande aumento de produção. Em 2014 o consumo de cimento no brasil bateu

recorde, superando a marca de 70 milhões de toneladas, porém a partir de 2015 houve um declínio até 2018, no ano seguinte houve um pequeno aumento segundo a [cimento.org](http://cimento.org) (FIGURA 4).



**Figura 4** - Vendas de cimento no Brasil.  
Fonte: [www.cimento.org](http://www.cimento.org) (2020)

## 2.4. ADIÇÃO DE COMPONENTE NO SOLO-CIMENTO

A escolha por um método construtivo sustentável que utiliza o solo como material construtivo proporciona muitas vantagens. Porém como todo material, ele também possui suas desvantagens, tais quais a variação contração/expansão do volume que leva ao surgimento de fissuras.

Diante disso, é possível utilizar o uso de adições residuais para reparar as fissuras e problemas com tração. Além disso, a inclusão de adições iria diminuir a quantidade de agregado natural na mistura para o solo-cimento. As adições podem ser, por exemplo, rejeitos industriais, fibras vegetais, reciclados de construções civis, isto é, resíduos que poderão ajudar no aumento à resistência a compressão e à tração. Desta forma seu incremento pode ajudar a melhorar a capacidade do solo em atender as especificações técnicas (PAIVA E RIBEIRO, 2011).

De acordo com Dantas Filho (2004), resíduo é todo excedente proveniente de uma ação, fabricação de um material ou transformação de um produto natural. Pode ser considerado resíduo: madeira, metal, plástico, vidro, cerâmica de piso e parede, telhas, restos de construções e outros. Esses resíduos podem ser adicionados, desde que devidamente proporcionados, em mistura com o solo na etapa de estabilização juntamente com o cimento. Além disso, as fibras vegetais proporcionam ao cimento maior resistência ao impacto, justificado pela elevada resistência a tração.

Pesquisadores fizeram ensaios em tijolos solo-cimento adicionando resíduos de construção, como (SOUZA et al., 2008) e (SEGANTINI e WADA, 2011). Ambos concluíram em suas pesquisas que a adição desses resíduos trouxe resultados significativos como a redução de fissuras durante a secagem, atendeu as especificações da norma em termo de resistência mecânica e absorção, tornando sua viabilidade viável economicamente.

Diante dos resultados satisfatórios com a adição das fibras vegetais ao cimento e também com a introdução de resíduos de construção ao tijolo ecológico, é possível considerar a inserção de fibras provenientes do papel Kraft ao solo-cimento.

#### **2.4.1. Embalagens de papel Kraft**

Kraft é um termo em alemão que significa forte e tem como característica mais relevante a sua resistência mecânica, portanto a partir de celulose de fibra longa (ROBERT, 2007).

Ele possui elevada resistência à tração, ao rasgo e ao arrebatamento, o que lhe torna um dos tipos de papel mais requisitados para a confecção de embalagens e embrulhos. Fabricados, em geral com pasta química sulfato não branqueadas, em gramaturas de 30 a 200 g/m<sup>2</sup>, e cuja principal característica é a resistência mecânica elevada. Distinguem-se variedades como Kraft branco (pasta branqueada), Kraft para sacos multifoliados (80 a 90 g/m<sup>2</sup>, em geral extensíveis) (ABTCP, 1994). Estas especificações exigem a utilização de celulose de fibra longa. E no Brasil utiliza-se, principalmente, as diversas espécies de Eucalyptus e Pinus para a produção de pasta celulósica. Segundo Klock (2013), as espécies mais utilizadas como matéria prima da

celulose de fibra longa são: *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Pinus caribaea*. A qualidade e propriedade da polpa são influenciadas pela espécie de madeira utilizada, sendo que as propriedades físicas das polpas de frondosas são geralmente inferiores as de resinosas. No caso de papéis para embalagem folhosas, o ideal é uma combinação de polpas de fibras longas e fibras curtas, visto que as fibras longas propiciam melhores propriedades de resistência física, enquanto as fibras curtas influenciam em características como melhor resistência a compressão (ABTCP, 1994).

O principal material utilizado para fabricação de saco multifoliado é o papel Kraft, fabricado com polpa, fibra longa

Assim, acredita-se que uma fonte de fibra celulósica com características que possam vir a oferecer contribuições no desempenho de matrizes cimentícias são as advindas do papel Kraft. Esse papel é proveniente de madeiras macias e como descrito anteriormente, se caracteriza por alta resistência mecânica, a qual se dá pela sua composição de fibras celulósicas com teores mínimos de lignina, devido ao processo de polpação. Em função de tal resistência, o papel Kraft é largamente empregado na fabricação de embalagens, incluindo para materiais da construção civil, como cimento e cal. Logo, tais embalagens geradas na construção civil, constituem fontes de fibra celulósica em abundância favorecendo seu emprego na confecção de novos materiais para construção civil.

As fibras de celulose são classificadas como orgânicas naturais e podem ser originárias de vegetais fibrosos ou de madeiras. As fibras de celulose, de acordo com Ilston (1994), são constituídas basicamente por três componentes, sendo eles: celulose, lignina e hemicelulose, sendo todos formados por cadeias poliméricas.

Quanto à estrutura física, as fibras celulósicas são compostas por um aglomerado de células formadas por microfibrilas que se unem pelas lamelas intercelulares. A fração de celulose é corresponde a essas microfibrilas, e a fibra, ou macrofibra, o conjunto formado pela união desses filamentos de celulose com a lignina e a hemicelulose. No tocante à durabilidade dos componentes da fibra, a celulose tem maior resistência à deterioração em relação aos demais elementos em função de sua alta cristalinidade. Assim, quanto mais “pura” em celulose for a fibra, maior resistência a meios alcalinos ela apresentará (SILVA, 2006). Outra característica das fibras definidas pela concentração de celulose é sua resistência à tração que se dá de forma

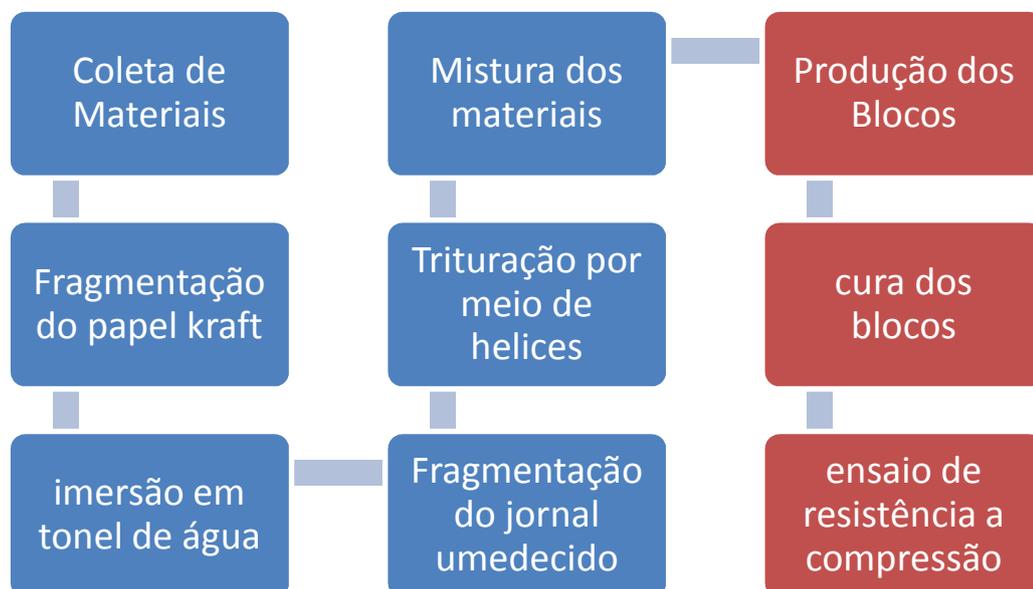
diretamente proporcional. Assim, fibras composta por teores mais elevados desse material, tendem a apresentar bons desempenhos de durabilidade e resistência a esforços de tração (SAVASTANO, 2000).

Devido à grande disponibilidade de fibras vegetais no Brasil, considerando a possível aplicação do uso dessas fibras para reforços em matrizes cimentícias, iniciarem-se estudos sobre a viabilidade de sua aplicação na construção civil. As pesquisas indicam eficiência já comprovada quando da adição de fibras de outras naturezas. Assim, para se obter essas fibras celulósicas (microfibrilas) é preciso submeter as matérias primas ao processo de polpação, o qual pode apresentar processos químicos, térmicos e mecânicos. Uma das formas de se avaliar a qualidade do processo de polpação é através dos teores de celulose na polpa final. Sendo que, quanto maior esse teor, isto é, quanto mais pura for a polpa em celulose, melhor é o processo. Atualmente, o método de polpação para obtenção das fibras celulósicas mais empregado e que tem apresentado melhores resultados é o Kraft, também conhecido como método químico dos sulfatos. Esse método consiste no cozimento da matéria prima a altas temperaturas (170°C) em soluções alcalinas. O meio alcalino associado às altas temperaturas tem a função de decompor os elementos não celulósicos. Embora os resultados obtidos através desse processo de polpação sejam melhores, ele apresenta desvantagens como custo elevado e mais poluente em comparação com outras metodologias. (SILVA, 2002). Assim, os processos de polpação podem também ser chamados de desfibramento, uma vez que provocam a alteração das macrofibras, removendo o material cimentante de seus componentes (lingnina) e demais componentes. Ainda, esses processos podem ser complementados por peneiramento em peneira vibratória de pequena abertura a fim de separar as macrofibras ainda presentes (SAVASTANO, 2000).

### **3. METODOLOGIA**

O procedimento de fabricação do tijolo ecológico sem e com adição de papel Kraft ocorreu em uma fabriqueta de tijolos solo-cimento na cidade de Maracás/Ba, e posteriormente os ensaios de resistência a compressão foram realizados no

laboratório da Empresa GIMACON na cidade de Jequié/Ba, e respeitou o seguinte fluxograma (FIGURA 5):



**Figura 5** - Fluxograma do processo de produção e ensaios de tijolo com e sem adição de papel Kraft.  
Fonte: O autor (2020).

### 3.1. CAPTAÇÃO DOS SACOS DE CIMENTO/ARMAZENAGEM

Foi feita a captação de sacos de cimentos em uma fábrica de pré-moldados na cidade de Maracás-BA (FIGURA 6), as embalagens foram limpas (FIGURA 7), retirando o excesso de cimento, em seguida foram estocados em local seco e coberto para proteção contra chuva. Apesar de terem passado por um processo de limpeza, foi possível perceber a presença de cimento que em contato com água, petrificaria e dificultaria a próxima etapa.



**Figura 6** - Captação das embalagens de cimento 50kg.  
Fonte: O Autor, (2020).



**Figura 7** - Limpeza das embalagens com objetivo de retirada de resquício do cimento.  
Fonte: O Autor, (2020).

## 3.2. PREPARAÇÃO DO PAPEL

### 3.2.1. Polpa de Celulose

As fibras de celulose empregadas nas argamassas foram as dos sacos de cimento de papel Kraft vale ressaltar que o mecanismo de polpação aqui descrito se refere apenas a um processo físico de dispersão. Assim, as fibras celulósicas não foram separadas dos demais materiais empregados na fabricação do papel.

Após a limpeza dos sacos como descrito anteriormente, as embalagens de papéis foram fragmentadas manualmente, como ilustrado na FIGURA 8.



**Figura 8** - Fragmentação do papel seco.  
Fonte: O Autor, (2020).

Para melhorar o processo de polpação foi colocado esse papel já limpo e fragmentado imerso em um tonel (FIGURA 9), onde ficou durante 7 dias até passar para próxima etapa.

Constatou-se que não há necessidade da adição de produtos químicos para auxiliar o processo de polpação, só deixá-lo imerso na água já foi o suficiente.



**Figura 9** - Imersão do papel fragmentado em água.

Fonte: O Autor, (2020).

A polpação das embalagens de cimento para permitir o seu emprego no solo-cimento foi obtida com o uso de um liquidificador doméstico juntamente com água potável até a dispersão das fibras, como ilustrado na FIGURA 10. Pensando numa produção em uma escala maior, foi possível substituir o liquidificador por um misturador semelhante com um eixo central acoplado a polia de um motor em uma de suas extremidades e a outra com uma hélice.



**Figura 10** - Liquidificador doméstico utilizado para produzir a poupa.

Fonte: O Autor, (2020).

Nesse processo, a proporção entre volume de água e quantidade de sacos foi de aproximadamente 2,5 litros por embalagem, o que corresponde a uma relação fibra/água igual a 0,06 já que as embalagens pesam em média 150 g. Com isso, obteve-se a polpa praticamente para aplicação, sem necessidade de se realizar peneiramento ou qualquer outra ação para retirada de excesso de água, e com boa capacidade de dispersão das fibras no momento da mistura na argamassa, como mostra a FIGURA 11. Dessa maneira, toda água empregada no processo de polpação é considerada parte da água do solo cimento, não havendo, portanto, desperdícios ou gastos extras.



**Figura 11** - Polpa de celulose.  
Fonte: O Autor, (2020).

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DO SOLO

#### 3.3.1. Correção do Solo

Quando um solo com característica ideal não for encontrado, com teor de areia em torno de 70%, é necessário se fazer uma correção granulométrica no solo encontrado, adicionando areia ou argila, misturando uniformemente obtendo-se um resultado compatível com o recomendado. Para o nosso caso o solo utilizado alcançou um percentual de 58% de área, então fizemos a correção do solo conforme procedimento supracitado (FIGURA 12).



**Figura 12** - Terra, areia para correção do solo e cimento.  
Fonte: O Autor, (2020).

### **3.3.2. Peneiramento do solo**

É imprescindível o peneiramento do material. Essa fase é indispensável principalmente por ter uma previsão nas normas técnicas que regem a fabricação do tijolo ecológico. O objetivo aqui foi eliminar as possíveis impurezas e principalmente deixar o material com a granulometria adequada para a fabricação do tijolo solo-cimento.

A granulometria é o tamanho adequado dos grãos para o processo. Definimos esse tamanho de acordo com a abertura da malha da peneira que deverá ser segundo a norma de 4,8mm aproximadamente uma peneira de café.

O peneiramento foi feito manualmente com peneira simples (FIGURA 13).



**Figura 13** - Peneira manual.  
Fonte: O Autor, (2020).

### 3.4. ESCOLHA DO CIMENTO PORTLAND

Para fabricação dos tijolos foi utilizado cimento CP II F-32 pelo fato de ser o tipo mais comercializado na região, o que facilita o acesso para uma futura produção, porém é interessante ressaltar que como um dos objetivos principais para esse tipo de tijolo é que ele fique aparente, com proteção a partir de pintura com resinas, vernizes ou silicone, se faz necessário um estudo mais aprofundado no sentido de evitar eflorescência.

Segundo Santos e Silva Filho (2008), o cimento recomendado para áreas molhadas é o CP-IV, cuja atividade pozolânica consome o hidróxido de cálcio na fase de hidratação. Em algumas regiões do Brasil existe dificuldade em se encontrar o CP IV; neste caso a alternativa é utilizar o CP III, que possui baixo teor de hidróxido de cálcio.

Deste modo, pelo fato do tijolo ficar exposto na maioria das aplicações, o cimento CP III e CP-IV seriam os mais indicados para esse tipo de aplicação podendo reduzir o aparecimento da eflorescência uma vez que possui menor reserva alcalina.

### 3.5. TRAÇOS

Foram propostos oito traços para avaliar o comportamento das tijolos de solo-cimento, com mistura convencional e traços com polpa de sacos de cimento.

Sendo dois sem o acréscimo da polpa, um com baixo consumo de cimento (1:10,5) e outro com alto consumo de cimento (1:7); três traços com baixo consumo de cimento e diferentes quantidades de polpa, pouco papel (1:1:10,5), médio papel (1:2:10,5) e bastante papel (1:3:10,5); três traços com alto consumo de cimento e diferentes quantidades de polpa, pouco papel (1:0,5:7), médio papel (1:1:7) e bastante papel (1:2:7);

Vale ainda ressaltar que, embora os teores de fibra nas argamassas se refiram à massa da polpa seca, no preparo de todas as argamassas elas foram aplicadas úmidas, considerando a água da polpa como parte da água de amassamento, (FIGURAS 14 e 15).



**Figura 14** - Traços propostos.  
Fonte: O Autor, (2020).



**Figura 15** - Traço com adição de papel Kraft.  
Fonte: O Autor, (2020).

## 3.6. PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS TIJOLOS

### 3.6.1. Mistura dos Materiais

Após os traços definidos, peneiramento e separação do solo, feito todo o procedimento com o papel Kraft iniciou-se o processo de produção, para tal foram necessários alguns equipamentos.

Para produção de tijolos em quantidade maior é importante utilizar betoneira para que essa mistura fique bem homogênea, nesse caso utilizamos misturadores manual, enxada e colher de pedreiro.

Após esse procedimento foi realizado a trituração por meio de triturador de terra da Verde Equipamentos (FIGURA 16). A principal função do triturador nessa etapa é

destorrar aqueles torrões que ficaram secos internamente, após passar pela betoneira ou processo manual. O objetivo aqui nada mais é do que conseguir uma mistura mais homogênea possível, aqueles torrões que sobraram do processo de mistura anterior.



**Figura 16** - Triturador.  
Fonte: O Autor, (2020).

### 3.6.2. Prensagem dos Tijolos

Depois de preparada a mistura é iniciada a prensagem dos tijolos foi utilizada a prensa manual da verde equipamentos (FIGURA 17), qual possui uma caixa carregadora, caixa molde com matriz aquecida (adaptada) e uma parte móvel que realiza a compactação em torno de 4 toneladas. A utilização desse tipo de prensa fornece um produto final com faces lisas e uniformes, com 25 cm de comprimento e 12,5 cm de largura e altura 7,0 cm. A altura do tijolo de solo cimento convencional é a única dimensão variável, a qual é diretamente proporcional às características do solo e de seu teor de umidade.



**Figura 17** - Prensa manual Verde Equipamentos.  
Fonte: Verde equipamentos, (2020).

### 3.6.3. Cura

A cura das amostras foi feita por um período de 28 dias necessários para a completa reação do cimento com os elementos da mistura e obtenção da resistência máxima à compressão do tijolo, conforme NBR 10834/2013. Durante esse período, as amostras foram armazenadas em local protegido da incidência direta do sol, foram molhadas, inicialmente, nas 6 primeiras horas e, posteriormente, por 7 dias. Durante o processo de cura, é importante evitar a perda de umidade por evaporação, garantindo uma cura homogênea das amostras (FIGURA 18).



**Figura 18** - Tijolos em processo de cura.  
Fonte: O Autor, (2020).

## 3.7. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

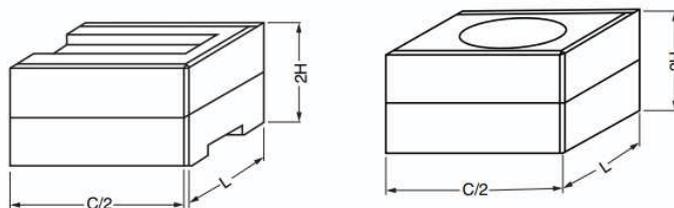
### 3.7.1. Resistência compressão simples

Os ensaios foram baseados na NBR 8492/2012 que define métodos para teste de resistência a compressão simples e absorção de água, porém nesse trabalho foi realizado apenas o ensaio de compressão simples.



**Figura 19** - Corte de tijolo ao meio para ensaio de compressão.  
Fonte: O Autor, (2020).

Seguindo a norma NBR 8.492/2012 para o ensaio de resistência à compressão simples, os tijolos foram cortados ao meio (FIGURA 19), perpendicularmente a sua maior seção, e superpostos, por suas maiores faces (FIGURA 20). As metades obtidas e suas superfícies cortadas foram colocadas invertidas, ligadas por uma fina camada de cimento, que foram deixadas em repouso. O corpo de prova obtido anteriormente, antes de ser submetido ao ensaio, deve apresentar suas faces planas e paralelas para que haja perfeito contato entre as superfícies de trabalho, podendo ser regularizadas com espessura máxima de 3 mm. Com uma espátula, retirar as rebarbas existentes.



**Figura 20** - Ilustração dos corpos de prova preparados a partir de tijolos maciço e vazado com duas metades invertidas superpostas.

Fonte: NBR 8.492, (2020).

Após o endurecimento do material utilizado (FIGURA 22), os corpos de prova devem ser identificados e imersos em água por no mínimo 6 h. Os corpos de prova foram retirados da água logo antes do ensaio e enxugados superficialmente, essa operação durou no máximo 3min. As dimensões das faces de trabalho foram determinadas com exatidão de 1 mm, sem o desconto das áreas de furos ou reentrâncias.



**Figura 21** - Corpos de prova.

Fonte: O Autor, (2020).

O corpo de prova foi colocado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, de maneira a ficar centrado em relação a este (FIGURA 21). A aplicação da carga foi uniforme e à razão de 500 N/s (50 kgf/s), a carga deve ser gradativamente elevada até ocorrer a ruptura do corpo de prova



**Figura 22** - Prensa hidráulica para resistência a compressão.  
Fonte: O Autor, (2020).

A resistência a compressão foi obtida por meio da Eq. 1. Assim, pode-se determinar a resistência média pela média aritmética das repetições do procedimento de compressão.

$$f_t = \frac{F}{S}$$

(Eq. 1)

Onde:

$f_t$  = resistência a compressão simples (MPa),  $F$  = carga de ruptura (N),  $S$  = área da seção transversal do corpo de prova [ $\text{mm}^2$ ].

Para esse tipo de ensaio foram preparados três corpos de prova para cada ensaio, que foram colocados em um suporte sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, pois a mesma não tinha dimensão adequada para apoio do tijolo, podendo ocasionar perda de resistência.

Em seguida, os corpos de prova foram centralizados com ajuda de uma régua graduada. A pressão de compressão, dessa forma, foi aplicada diretamente na face superior do tijolo. A aplicação da carga ocorreu de maneira uniforme. As cargas foram sendo gradativamente elevadas até ocorrer à ruptura do tijolo. O resultado final do ensaio foi obtido, dividindo-se a carga máxima de ruptura aplicada pela área da seção

transversal das amostras. A resistência média foi obtida a partir da média aritmética das três repetições de cada ensaio (ROLIM, 1999).

### 3.7.2. Ensaio dimensional

Por se tratar de um tijolo de solo cimento, as dimensões dos tijolos são de fundamental importância para um bom encaixe entre eles (FIGURA 23). Sendo assim, nesse caso além da espessura está sujeita a variação, na qual sofre influência da composição do traço prensado, foi levado em consideração a possibilidade de variação de largura e comprimento, em função da recuperação da elasticidade das fibras.



**Figura 23** - Medição com paquímetro para teste dimensional.  
Fonte: O Autor, (2020).

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Ensaio à compressão simples com e sem adição de Papel Kraft

Conforme o resultado dos ensaios, observa-se que em alguns traços os corpos de prova apresentaram resultados de resistência à superior comparado ao mesmo traço sem a adição de papel Kraft, atendendo às normas regentes de padrões dos tijolos solo-cimento.

Observou-se também que a medida que adicionou mais papel ao traço houve uma redução na resistência do tijolo (FIGURA 24), respectivamente.

Com base nos resultados obtidos no rompimento dos corpos de prova, obteve-se um parâmetro de resistência à compressão dos corpos de prova das demais amostras ensaiadas. De acordo com a NBR 10836/2013 os tijolos que apresentarem resistência à compressão aos 28 dias de ensaio superior ou igual a 1,7 Mpa, podem ser utilizados como materiais de alvenaria não estrutural.

Uma vez finalizado os testes de compressão na prensa hidráulica, nas amostras traço 1, traço 2, traço 3, traço 4, traço 6 e traço 7, essas amostras confeccionadas e ensaiadas apresentam um resultado igual ou superior a mencionada na NBR 10836/2013, já as amostras traço 5 e traço 8 não atenderam a norma.

Os resultados obtidos nos ensaios estão relacionados nas tabelas abaixo, que apresentam a quantidade relativa a cada corpo de prova e a média para cada traço, após o ensaio de compactação.

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Resistência a compressão (MPa)</b>
<b>CP1</b>	28	2,35
<b>CP2</b>	28	2,29
<b>CP3</b>	28	2,26
<b>Média de resistência</b>		2,30
<b>Desvio padrão</b>		0,05
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,02

**Tabela 1** - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 1 = 1:7)

Fonte: O Autor, (2020).

Corpo de Prova	Idade (dias)	Resistência à compressão (Mpa)
CP1	28	3,78
CP2	28	3,70
CP3	28	3,98
<b>Média de resistência</b>		3,82
<b>Desvio padrão</b>		0,14
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,04

**Tabela 2** - Ensaios de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 2 = 1:0,5:7)  
Fonte: O autor, (2020).

Corpo de Prova	Idade (dias)	Resistência à compressão (Mpa)
CP1	28	3,62
CP2	28	3,57
CP3	28	3,35
<b>Média de resistência</b>		3,51
<b>Desvio padrão</b>		0,14
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,04

**Tabela 3** - Ensaios de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 3 = 1:1:7)  
Fonte: O autor, (2020).

Corpo de Prova	Idade (dias)	Resistência à compressão (Mpa)
CP1	28	3,17
CP2	28	2,74
CP3	28	2,99
<b>Média de resistência</b>		2,96
<b>Desvio padrão</b>		0,22
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,07

**Tabela 4** - Ensaios de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 4 = 1:2:7)  
Fonte: O autor, (2020).

Corpo de Prova	Idade (dias)	Resistência à compressão (Mpa)
CP1	28	1,27
CP2	28	1,18
CP3	28	1,22
<b>Média de resistência</b>		1,22
<b>Desvio padrão</b>		0,04
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,04

**Tabela 5** - Ensaios de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 5 = 1:10,5)  
Fonte: O autor, (2020).

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Resistência à compressão (Mpa)</b>
CP1	28	2,26
CP2	28	2,31
CP3	28	2,52
<b>Média de resistência</b>		2,36
<b>Desvio padrão</b>		0,14
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,06

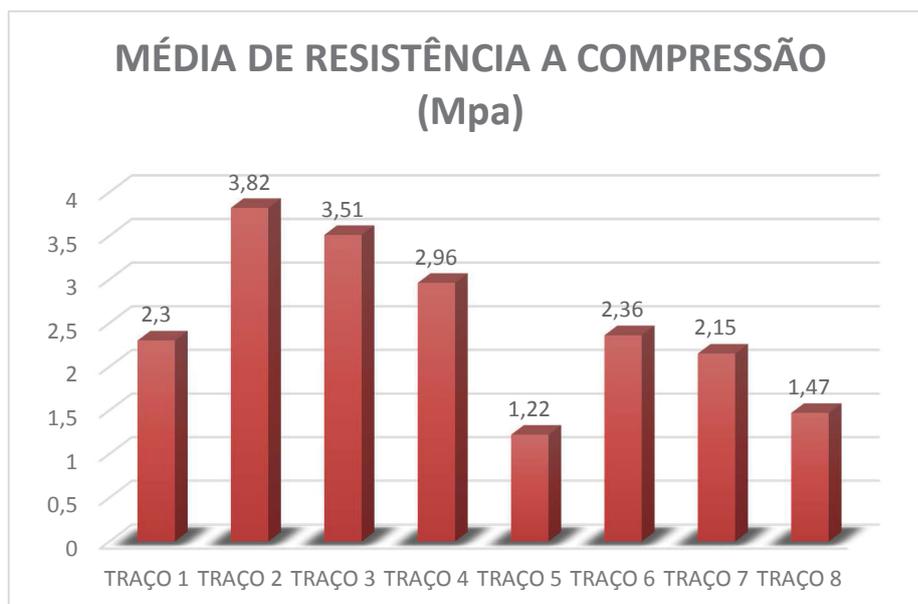
**Tabela 6** - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 6 = 1:1:10,5)  
Fonte: O autor, (2020).

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Resistência à compressão (Mpa)</b>
CP1	28	2,25
CP2	28	2,03
CP3	28	2,17
<b>Média de resistência</b>		2,15
<b>Desvio padrão</b>		0,11
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,05

**Tabela 7** - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 7 = 1:2:10,5)  
Fonte: O autor, (2020).

<b>Tijolo Padrão (traço 8 = 1:3:10,5)</b>		
<b>Corpo de Prova</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Resistência à compressão (Mpa)</b>
CP1	28	1,60
CP2	28	1,48
CP3	28	1,33
<b>Média de resistência</b>		1,47
<b>Desvio padrão</b>		0,14
<b>Coefficiente de Variação</b>		0,09

**Tabela 8** - Ensaio de resistência a compressão – Tijolo Padrão (traço 8 = 1:3:10,5)  
Fonte: O autor, (2020).



**Figura 24** - Corpos de prova submetido a ensaios de resistência a compressão.  
Fonte: O autor, (2020).

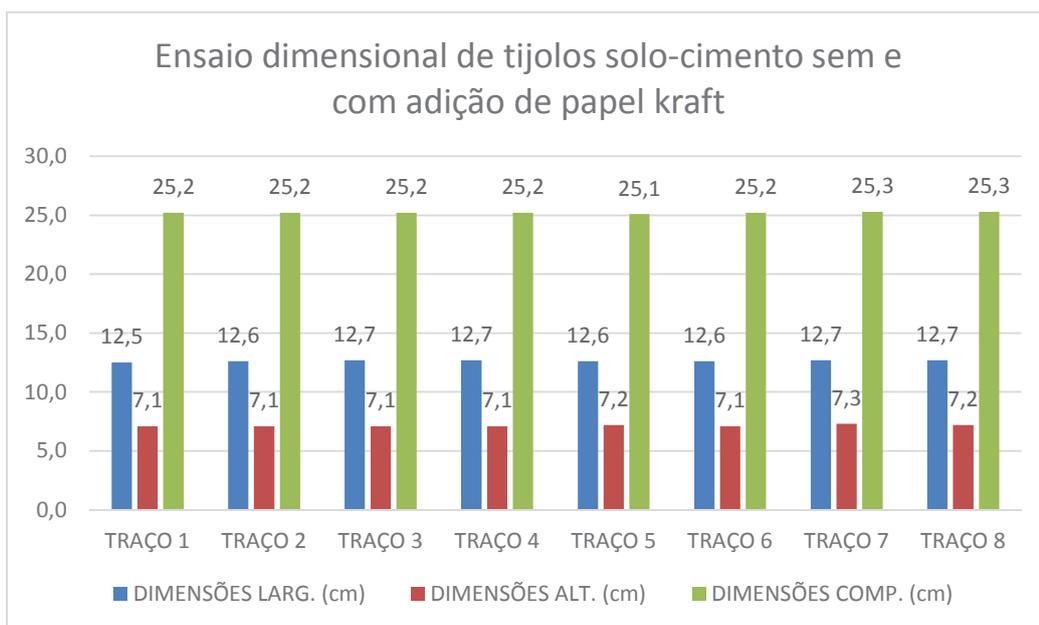
Traços	Média (Mpa)
<b>01 = 1:7 (Argila/Areia:Cimento)</b>	2,35
<b>02 = 1:0,5:7 (Argila/Areia:Kraft:Cimento)</b>	3,82
<b>03 = 1:1:7 (Argila/Areia:Kraft:Cimento)</b>	3,51
<b>04 = 1:2:7 (Argila/Areia:Kraft:Cimento)</b>	2,96
<b>05 = 1:10,5 (Argila/Areia:Cimento)</b>	1,22
<b>06 = 1:1:10,5 (Argila/Areia:Kraft:Cimento)</b>	2,36
<b>07 = 1:2:10,5 (Argila/Areia:Kraft:Cimento)</b>	2,15
<b>08 = 1:3:10,5 (Argila/Areia:Kraft:Cimento)</b>	1,47

**Tabela 9** - Comparativo de resistência a compressão.  
Fonte: O autor, (2020).

## 4.2. Ensaio dimensional

Para as dimensões do tijolo de solo-cimento principalmente os com adição de polpa de papel Kraft, foi utilizada a margem de  $\pm 3$  mm para obtenção de amostras padronizadas.

Os valores apresentados (FIGURA 25), foram obtidos através do valor médio da medição de duas unidades, retiradas aleatoriamente de cada amostra confeccionada. De acordo com os valores apresentados as amostras estão dentro do limite pré-estabelecido pela norma que é de no máximo 3mm para mais ou para menos.



**Figura 25** - Ensaio dimensional de tijolos.  
Fonte: (o autor, 2020).

## 5. CONCLUSÕES

Os ensaios efetuados demonstraram que a adição de papel Kraft à fabricação de tijolos ecológicos, nas amostras traço 01, traço 02, traço 03, traço 04, traço 06 e traço 07, apresentaram resultados satisfatórios na sua utilização como material de fechamento não estrutural com resistência acima de 1,7 Mpa, conforme recomendado pela norma NBR 10834/2013. Após o período de 28 dias de cura. Já o traço 05 (1:10,5) e traço 08 (1:3:10,5) não atingiu resistência mínima exigida pela norma que recomenda mínimo de 2 Mpa de resistência a compressão.

Observou-se também que a inclusão de papel Kraft em menor quantidade, contribuiu para o ganho de resistência, contrapondo esse dado, à medida que adicionou uma quantidade maior de papel, houve perda de resistência a compressão

Portanto, a utilização das fibras de papel Kraft provenientes das embalagens de cimento na composição dos tijolos solo-cimento é uma solução adequada uma vez que propicia melhoria na qualidade dos tijolos e redução no consumo de cimento, viabilizando ainda mais sua fabricação, obtendo êxito em âmbito econômico e promovendo sustentabilidade Ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP, **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. ABCP, São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Aplicações do cimento**. São Paulo, 2016. Acesso em: <https://abcp.org.br/basico-sobre-cimento/aplicacoes/aplicacoes/>. Acesso em: 14/02/2020.

ABIKO, A.K. Solo-cimento: **tijolos, blocos e paredes monolíticas**. IPT/Ded, Tecnologia Edificações.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8491: Tijolos de solo-cimento – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11798: Materiais para base de solo-cimento — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

BATTAGIN, A.F. Instituto Brasileiro do Concreto – Livro **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA**, Cap. 06 - **Cimento Portland Portland**, 2010.

BUSON, M. A. **Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel Kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. Brasília, 2009.

CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, L. R. **Avaliação de argamassas com fibras de papel Kraft proveniente de embalagens de cimento**. Goiânia, 2011.

DUARTE, S.R. **Construir com a terra. Uma proposta de intervenção no Bairro do Barruncho**. Dissertação (Mestrado), UNIVERSIDADE DE LISBOA, Lisboa, 2013.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5ª edição, 2018.

**Fabricante de cimento revê para cima previsão de vendas**. Disponível em: <<https://www.abecip.org.br/imprensa/noticias/fabricante-de-cimento-reve-para-cima-previsao-de-vendas>>. Acesso em 12/01/2020.

FERRAZ, A.L.N. **Análise da adição de resíduos de argamassa de cimento em tijolos prensados de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Ilha Solteira - SP Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2004.

FERREIRA, E.M. **Construção com solo cimento**. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo7.htm>. Acesso em 12/03/2020.

HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. **Earth Construction: a comprehensive guide**. London, 1994.

KLOCK, U., ANDRADE, A. S. de; HERNANDEZ, J; A. **Polpa e Papel**. Manual Didático. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 3ª edição. 2013 Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>. Acesso em: 15/02/2016.

ILSTON, J. M. **Construction materials: their nature and behavior**. Chapman & Hall. London, 1994.

MILANI, A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimentocinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica**. Tese de Doutorado. Campinas/SP: UNICAMP, 2008.

MINKE, G. **Earth Construction Handbook: The Building material earth in modern Architecture**. WIT Press, 2000.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

PAIVA, P.A.; RIBEIRO, M.S. **A reciclagem na construção civil: como economia de custos**. REA-Revista Eletrônica de Administração, v. 4, n. 1, 2011.

ROBERT, N.T.F. **Produção de Embalagem de Papel – dossiê técnico - REDETEC**, Rio de Janeiro, 2007.

ROSA, B.S. **Análise do panorama geral do mercado de tijolos ecológicos solo-cimento no estado da Bahia**. Cruz das Almas, 2019.

RESOLUÇÃO CONAMA, **Critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**, nº 307, de 5 de julho de 2002 Publicada no DOU no 136, de 17 de julho de 2002.

SANTIAGO, C.C., **O Solo como Material de Construção**. Salvador, 2001.

SANTOS, P.H.C.; SILVA FILHO, A.F. **Eflorescência: causas e consequências**. Salvador, 2008.

SAVASTANO, H. J. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. São Paulo, 2000.

SEGANTINI, A. A.; WADA, H. P. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição**. Acta Scientiarum Technology. Maringá, v. 33, n.2, p. 179-183, 2011.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. São Paulo, 2002.

SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico e mecânico**. São Paulo, 2006.

SILVA, S.R. **Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. 219 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SOUZA, M., SEGANTINI, A., PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, p. 205-212, 2008.

TEIXEIRA, D.M.A. **Uso do papel Kraft como fibra em peças de concreto para pavimentação**. Teresina, 2017.

VIMAQ PRENSAS. Disponível em: <http://vimaqprensas.com.br/duvidas/> Acesso em 12/03/2020.