

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**KELLY LOURENÇO BRITTO  
NICOLY MARTINIANO LOPES**

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO TÉCNICA DE TELHAS MANUFATURADAS A  
PARTIR DE MATERIAIS RECICLADOS**

**CARATINGA**

**2019**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL**  
**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**KELLY LOURENÇO BRITTO**  
**NICOLY MARTINIANO LOPES**

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO TÉCNICA DE TELHAS MANUFATURADAS A  
PARTIR DE MATERIAIS RECICLADOS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil das Faculdades DOCTUM de  
Caratinga, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.**

**Área de concentração: Construção  
Civil.**

**Orientador: Prof. Esp. João Moreira de  
Oliveira Junior.**

**CARATINGA**

**2019**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

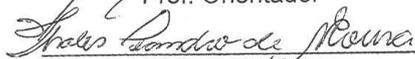
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO TÉCNICA DE TELHAS MANUFATURADAS A PARTIR DE MATERIAIS RECICLADOS, elaborado pelo(s) aluno(s) KELLY LOURENÇO BRITTO e NICOLY MARTINIANO LOPES foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

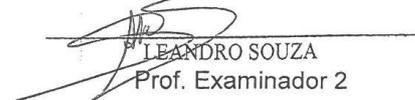
Caratinga 09/07/2019



JOÃO MOREIRA  
Prof. Orientador



THALES MOURA  
Prof. Avaliador 1



LEANDRO SOUZA  
Prof. Examinador 2

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus por tudo, pois foi ele que nos deu forças para chegar até aqui.

Aos nossos pais pelo incentivo de sempre, pelo apoio nos momentos mais difíceis, ajuda nas horas de necessidade e extremo amor.

Aos nossos familiares, amigos e todas as pessoas que foram importantes diretamente e indiretamente para a concretização deste sonho.

A todos os professores que compartilharam seus conhecimentos, em especial a professora Bárbara Dutra e professora Camila Silva.

Ao professor e coordenador do curso João Moreira, pelos conhecimentos passados, pela paciência e pela orientação na presente pesquisa.

## RESUMO

A indústria da construção civil com seu alto potencial de crescimento, e sua intensa cadeia produtiva, a torna a maior consumidora de matérias primas, tendo uma larga escala de geração de resíduos e muitas vezes uma disposição inadequada, gerando assim grandes impactos ambientais. Diante do exposto, mediante uma ampla revisão bibliográfica realizou-se a produção de corpos de prova de telhas manufaturadas de materiais reciclados, pet e papel, a fim de apresentar um material ecológico com possível potencial de uso. Portanto, é necessário determinar a resistência à flexão, determinar a permeabilidade à água, determinar a taxa relativa de absorção de água e determinar as características mediante as normas técnicas. Realiza-se, então, uma pesquisa metodológica científica experimental, para averiguar a viabilidade da produção das telhas de materiais reciclados como alternativa de um elemento construtivo ecológico. Diante disso, verificou-se que com base aos resultados dos ensaios, que as telhas manufaturadas obtiveram resultados parcialmente satisfatórios, contudo mostrou ser um projeto com potencial alternativo de uso e que pode ser de grande valor no mercado da reciclagem, para a preservação ambiental e a inserção de sustentabilidade na cadeia econômica.

### **Palavras- chave:**

Telhas; pet; papel; flexão; manufatura.

## **ABSTRACT**

The construction industry, with its high potential for growth and its intense production chain, makes it the largest consumer of raw materials, having a large scale of waste generation and often an inadequate disposal, thus generating large environmental impacts. In view of the above, a large bibliographical review was carried out to produce tile specimens made from recycled materials, pet and paper, in order to present an ecological material with potential use potential. Therefore, it is necessary to determine the flexural strength, determine the water permeability, determine the relative water absorption rate and determine the characteristics by the technical standards. An experimental scientific methodological research is carried out to investigate the viability of the production of recycled material tiles as an alternative to an ecological constructive element. In view of this, it was found that, based on the results of the tests, that the manufactured tiles obtained partially satisfactory results, however it proved to be a project with alternative potential of use and that can be of great value in the recycling market, for the environmental preservation and the insertion of sustainability in the economic chain.

### **Key words:**

Roof tiles; pet; paper; flexion; manufacturing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Telha de Fibrocimento.....	21
Figura 2.2 Tabela 1–Classificação das telhas onduladas. ....	25
Figura 2.3 Tabela 2–Carga minima de ruptura à flexão.....	25
Figura 2.4 Tabela 4–Espessura. ....	25
Figura 2.5 Telha de Papel. ....	28
Figura 2.6 Telha de Fibra de Coco.....	29
Figura 2.7 Telha ecológica Tetra Pak.....	30
Figura 2.8 Telha de Pet.....	32
Figura 3.1 Pet triturado.....	35
Figura 3.2 Papel apto a reciclagem depois de batido com água.....	35
Figura 3.3 Cimento Portland e aglutinante .....	36
Figura 3.4 Mistura dos materiais pet, papel e cimento Portland.....	36
Figura 3.5 Mistura dos materiais pet, papel, cimento Portland e aglutinante .....	37
Figura 3.6 Corpo de prova no molde.....	38
Figura 3.7 Seção transversal do corpo de prova impermeabilizado.....	38
Figura 3.8 Corpos de prova na forma geometrica retangular .....	39
Figura 3.9 Características geométricas da seção transversal dos corpos de prova..	39
Figura 3.10 Prensa hidráulica utilizada no ensaio de flexão .....	41
Figura 3.11 Telhas imersas em água para o teste de absorção.....	43
Figura 3.12 Esquema do ensaio de permeabilidade à água .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Determinação da resistência a flexão.....	47
Tabela 4.2 Determinação de massa e da absorção de água.....	48
Tabela 4.3 Impermeabilidade das telhas.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

**ABCP** — Associação Brasileira de Cimento Portland

**ABIPET** — Associação Brasileira de Embalagens

**ABNT** — Associação Brasileira de Normas Técnicas

**AMB** — Associação Médica Brasileira

**ASTM** — American Society for Testing and Materials

**b** — Base

**CECS** — Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas

**CEMPRE** — Compromisso Empresarial para Reciclagem

**CNI** — Confederação Nacional da Indústria

**CONAMA** — Conselho Nacional do Meio Ambiente

**CP** — Corpo de Prova

**ECO-92** — Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

**F** — Força

**g** — Gravidade

**GO** — Goiás

**h** — Altura

**IBAS** — Secretaria Internacional do Banimento do Amianto

**IEC** — International Electrotechnical Commission

**ISO** — International Organization of Standardization

**Kg** — Quilograma

**M** — Massa

**MG** — Minas Gerais

**mm** — Milímetros

**MPa** — Megapascal

**N** — Newton

**NBR** — Norma Brasileira

***n*** — Quantidade de observações

**OMS** — Organização Mundial da Saúde

**ONU** — Organização das Nações Unidas

**PET** — Polietileno Tereftalato

**PP** — Polipropileno

**PPCS** — O Plano de Ação Para Produção e Consumo Sustentáveis

**PVA** — Poli álcool vinílico

**PVC** — Policloreto de Polivinila

**STF** — Supremo Tribunal Federal

$\bar{X}$  — Símbolo utilizado para representar a Média Aritmética

% — Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	Contextualização	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivo específico	14
1.3	Justificativa	15
1.4	Estruturação do trabalho	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>18</b>
2.1	Sustentabilidade e a Indústria da Construção Civil	18
2.2	As Telhas como Elementos Construtivos	19
2.3	A Telha de Fibrocimento	20
2.4	Requisitos Técnicos da Telha Referencial	23
2.5	Telhas Ecológicas	26
2.5.1	Telhas Ecológicas Produzida com Papel Reciclado	27
2.5.2	Telhas de Fibras de Coco	28
2.5.3	Telhas Treta Pak	30
2.5.4	Telha PET	31
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>34</b>
3.1	Produção dos corpos de prova	35
3.2	Materiais e Métodos	40
3.2.1	Caracterização Mecânica	40
3.2.2	Caracterização físico-química	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>50</b>

<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>51</b>
APÊNDICE A – Cálculo da resistência a flexão dos CP's.....	58
Cálculo da resistência a flexão do CP 1 .....	58
Cálculo da resistência a flexão do CP 2 .....	58
Cálculo da resistência a flexão do CP 3 .....	59
Cálculo da resistência a flexão do CP 4 .....	59
Cálculo da resistência a flexão do CP 5 .....	59
Cálculo da resistência a flexão do CP 6 .....	60
Cálculo da resistência a flexão do CP 7 .....	60
Cálculo da resistência a flexão do CP 8 .....	61
Cálculo da resistência a flexão do CP 9 .....	61
Cálculo da resistência a flexão do CP 10 .....	61
APÊNDICE B – Cálculo da taxa de absorção dos CP's.....	63
Cálculo da taxa de absorção do CP 1 .....	63
Cálculo da taxa de absorção do CP 2 .....	63
Cálculo da taxa de absorção do CP 3 .....	63
Cálculo da taxa de absorção do CP 4 .....	64
Cálculo da taxa de absorção do CP 5 .....	64
Cálculo da taxa de absorção do CP 6 .....	64

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A Revolução Industrial que ocorreu entre os séculos XVIII e XIX trouxe desenvolvimento tecnológico e um grande crescimento populacional, de maneira que, a extração de recursos naturais aumentou de forma significativa, para a geração de produtos destinado a atender às necessidades da população (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

Devido ao aumento da demanda e da produção excessiva, a geração de resíduos provenientes desse processo, assim como o seu descarte, com o passar dos anos tem gerado consequências preocupantes em âmbito social e ambiental. (ARAUJO, 2002).

A indústria da construção civil com o seu alto potencial de crescimento, tem uma grande representatividade na economia, sendo a base do desenvolvimento da infraestrutura do Brasil. Sua intensa cadeia produtiva a torna a maior consumidora de matérias primas. Com isso, a larga escala de geração de resíduos e sua disposição inadequada ocasiona graves impactos ambientais. (HENRIQUES et al, 2014).

Diante desse cenário atual há uma gradativa conscientização da população em relação a sustentabilidade, de maneira que, as empresas do setor da construção civil estão norteadas ao investimento em alternativas de sistemas construtivos considerados ecologicamente corretos (ARAUJO, 2002).

No Brasil atualmente, o cenário envolvendo os resíduos de materiais contendo amianto é polêmico, onde segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS o amianto é uma fibra cancerígena, e pode contaminar o meio ambiente.

Devido a isso, o Supremo Tribunal Federal – STF, em novembro de 2017, declarou a inconstitucionalidade do art. 2º da Lei Federal n. 9.055/1995, que dava permissão a utilização do amianto de maneira controlada. Por 7 votos a 2, o STF decidiu proibir, em todo o país, a produção, a comercialização e o uso do amianto tipo crisotila, porém existe um movimento no Congresso Nacional para que a exploração do

amianto volte. O Senado criou uma comissão para conhecer a realidade de Minaçu/GO, e deve pedir a reabertura da mina de amianto da cidade, segundo reportagem exibida em maio de 2019 pelo programa de televisão brasileiro Fantástico.

A proposta deste trabalho científico experimental, é a produção de telhas onduladas manufaturadas com a utilização de materiais recicláveis, papel e garrafas PET, para posterior análise.

Realização a partir de revisão bibliográfica, produção de corpos de provas e ensaios laboratoriais necessários de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 13.818 (1997), NBR 13.858-2 (2009), NBR 7581 (1993), NBR 5642 (1993), NBR 15210-1 (2005) e ASTM D 790/98.

Serão feitos testes de resistência a flexão e caracterização físico-química para averiguar a viabilidade da produção das telhas de materiais recicláveis como alternativa de um elemento construtivo ecológico.

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo geral

Produzir telhas onduladas manufaturadas a partir de papel, garrafas PET e analisar a resistência à flexão, a absorção de água e a permeabilidade à água.

### 1.2.2 Objetivo específico

São objetivos específicos do presente trabalho:

- Determinar a resistência a flexão das telhas pelos cálculos dos valores de carga de ruptura (N), e módulo de resistência a flexão (MPa) de acordo com as Normas ASTM D 790/98 e ABNT NBR 13.818 (1997);
- Caracterizar físico-quimicamente as telhas, fazer o ensaio para determinar a taxa relativa de absorção de água segundo as Normas ABNT NBR 13.858-2 (2009) e NBR 7581 (1993);

- Determinar a permeabilidade à água das telhas segundo as Normas ABNT NBR 5642 (1993) e NBR 7581 (1993);
- Determinar as características das telhas manufaturadas de materiais reciclados produzidas, em relação as Normas ABNT NBR 15210-1 (2005), NBR 13.818 (1997), NBR 13.858-2 (2009) e NBR 7581 (1993).

### **1.3 Justificativa**

A preocupação com a sustentabilidade vem de longa data e está interligada ao setor da construção civil juntamente com a crescente conscientização ambiental da sociedade pode gerar grandes benefícios em âmbito social, para as gerações futuras, e em âmbito econômico, para as empresas mostrarem sua eficiência e competitividade. (NÓBILE, 2003).

Como alternativa à grande quantidade de resíduos sólidos urbanos produzidos todos os dias, a construção civil vem encontrando espaços para reutilização/reciclagem de materiais poliméricos provenientes de outras indústrias (HIPOLITO et al, 2013).

As garrafas PET são os plásticos mais utilizados na indústria para armazenamento de bebidas e outros produtos alimentícios e sua reciclagem apresenta vantagens para a sociedade e meio ambiente, pelo volume expressivo produzido pelas indústrias, assim reduzindo seu descarte no ambiente (SILVA et al., 2010).

O PET tem um longo período de vida útil, que ocasiona a superlotação de aterros, assim como o papel, que desde a sua extração até seu descarte gera consequências negativas ao meio ambiente. O descarte de ambos os resíduos geralmente é inadequado, sendo um incentivo para reciclagem, que além do fator econômico, e da preservação de recursos naturais, como a matéria-prima, água e energia, minimiza a poluição e quantidade de lixo (FONSECA, 2013).

O reaproveitamento do papel pode-se diminuir o volume excessivo desse resíduo, que leva de 3 a 6 meses para se decompor, podendo chegar a 100 anos em aterros com pouca umidade, além de poupar árvores, pois a celulose é a matéria-prima para sua fabricação, onde para cada tonelada de papel reciclado são poupadas aproximadamente vinte árvores, segundo (SOUSA et al., 2016).

Através de estudos sobre materiais utilizados no setor de construção civil, Parrott (1998) afirma que as pesquisas na área de materiais de construção devem ser orientadas visando facilitar a análise dos impactos ambientais envolvidos em todo seu ciclo de vida, ou seja, abrangendo basicamente as etapas de extração de matérias-primas, produção, transporte, utilização e disposição final de materiais de construção. Desta forma, seria possível a escolha das melhores opções ambientais, em termos de materiais de construção.

As telhas manufaturadas é um estudo que visa gerar uma alternativa de substituição de matérias primas para produção de um elemento da construção civil por materiais recicláveis e se mostra como uma estratégia interessante para uma produção mais limpa e a garantia de construções mais sustentáveis.

#### **1.4 Estruturação do trabalho**

Este trabalho de conclusão de curso em engenharia civil foi dividido em 5 (cinco) capítulos.

No capítulo 1, contém a introdução, com a contextualização, o objetivo geral e objetivos específicos, justificativa e a estrutura do trabalho.

Já capítulo 2, contém a revisão bibliográfica, abordando os temas: Sustentabilidade e a indústria da construção civil, as telhas como elementos construtivos, a telha de fibrocimento, requisitos técnicos da telha referencial, telhas ecológicas.

Quanto ao capítulo 3, contém a metodologia, com processo produtivo da telha, ensaio de resistência a flexão, caracterização físico-química, ensaio para determinar a absorção de água, ensaio de permeabilidade à água, determinações

das características das telhas manufaturadas de materiais reciclados produzidas, em relação as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

O capítulo 4, contém os resultados e análise.

Por fim, no capítulo 5, contém as conclusões e recomendações.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Sustentabilidade e a Indústria da Construção Civil**

Através da disponibilidade e exploração de matérias primas tornou-se possível a prosperidade industrial, entretanto, com isso veio a diminuição desses recursos (escassez) (DUARTE, 2009).

A visão mais clara adquirida ao longo do tempo com relação a finitude dos recursos naturais e suas consequências destrutivas para humanidade, gerou uma busca por um mundo mais equilibrado, de forma que começaram a surgir ideias de medidas a serem implementadas para minimizar os problemas (ARAUJO, 2002).

Criada em 1987 pela Organização das Nações Unidas – ONU e presidida por Gro Harlem Brundtland, primeira ministra da Noruega, a World Commission on Environment and Development (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), teve como objetivo apresentar à sociedade mundial um relatório, abordando a escassez dos recursos naturais e a real situação de pobreza e miséria no mundo. A comissão recomendou a criação de uma nova declaração universal sobre a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável: o Relatório Brundtland, que foi publicado com o título “Our Common Future” (Nosso Futuro Comum), que traz o conceito de desenvolvimento sustentável para o discurso público, sendo o desenvolvimento de maneira a suprir as necessidades da sociedade atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades.

Em 1992 aconteceu na cidade do Rio de Janeiro, a Conferência da Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como ECO-92. Nessa conferência, a ONU apresentou a Agenda 21, com ações para serem implementadas pelas nações a favor do desenvolvimento sustentável (ARAUJO, 2002).

O setor da construção civil é um dos maiores responsáveis pelos impactos ambientais, devido ao seu grande consumo de matérias primas, a enorme geração

de resíduos, além do alto consumo de energia e alto índice de desperdício de materiais (LESSA, 2009).

Segundo a ABNT NBR ISO 26000 (2010), organizações em todo o mundo, assim como suas partes interessadas, estão se tornando cada vez mais cientes da necessidade e dos benefícios do comportamento socialmente responsável. O objetivo da responsabilidade social é contribuir para o desenvolvimento sustentável. Tornou-se crucial o desempenho da organização em relação a sociedade em que opera e ao seu impacto no meio ambiente.

O Pacto Global foi lançado em 2000 pelo secretário-geral das Nações Unidas, Kofi Annan, e é uma chamada para as empresas alinharem suas estratégias e operações na área de Meio Ambiente e desenvolverem ações que contribuam para o enfrentamento dos desafios da sociedade. É hoje a maior iniciativa de sustentabilidade corporativa do mundo (PACTO GLOBAL, 2019).

Ainda segundo o Pacto Global (2019), como um dos princípios na área de meio ambiente, as empresas devem apoiar uma abordagem preventiva aos desafios ambientais, desenvolver iniciativas para promover maior responsabilidade ambiental, incentivar o desenvolvimento e difusão de tecnologias ambientalmente amigáveis.

## **2.2 As Telhas como Elementos Construtivos**

Devido ao desenvolvimento no setor da engenharia dos materiais, surgiram diferentes modelos de telhas, com matérias primas variadas em sua composição. Com isso o consumidor encontra diversidade, com opções para edificações em várias regiões do planeta, com diferentes climas. No mercado mundial existe a comercialização de telhas de concreto, de cimento, de alumínio, de policarbonato e de PVC. Essas telhas, entretanto, utilizam grande quantidade de recursos naturais em sua formulação (LESSA, 2009).

Segundo a ABNT NBR ISO 9001 (2000), a Associação Brasileira de Normas Técnicas, especifica uma série de normas que contem requisitos técnicos a serem atendidos, uma implantação de sistema de gestão de qualidade que possibilita a

otimização de diversos processos, e a melhoria contínua dos produtos fornecidos, incluindo padronização de métodos para ensaios, que devem ser atendidos pelas telhas.

De acordo com a ABNT NBR ISO 14001 (2015), devido ao aumento da consciência ambiental e da escassez dos recursos naturais, as organizações cada vez mais são influenciadas a contribuírem de forma sistematizada na redução dos impactos ambientais associados aos seus processos, possibilitando mudanças das condições ambientais em equilíbrio com as necessidades socioeconômicas.

Segundo Lessa (2009), atualmente no mercado existem as chamadas telhas ecológicas, que surgiram como alternativa as telhas convencionais, que por sua vez utilizam grande quantidade de matérias-primas em sua produção que, em geral, provem de extração mineral, tão prejudicial ao meio ambiente. As telhas ecológicas utilizam em sua composição material reciclado ou proveniente de manejo florestal. Por ser um produto novo no mercado, pouca literatura há acerca destes materiais.

### **2.3 A Telha de Fibrocimento**

A telha de fibrocimento, desde 1940, está presente no mercado brasileiro. É amplamente usada pelo setor da construção civil, principalmente em cobertura de habitações populares, de edifícios e em edificações com grandes áreas cobertas como os galpões (LESSA, 2009).

O fibrocimento, é um material cimentício e muito usado na construção civil, sua composição é basicamente cimento, amianto e água, mas devido o problema nocivo do amianto, vem sendo utilizado fibras alternativas (HENRIQUES et al. 2014).

Em meados da década de 1990, um dos materiais alternativos encontrados pelo setor para substituição do amianto, a princípio foi a fibra sintética alternativa de PVA (poli álcool vinílico), que anos depois, em 2003, foi substituída por alguns fabricantes pela fibra de polipropileno (PP) na produção de telhas e caixas d'água. (MARQUES et al, 2016).

**Figura 2.1** Telha de Fibrocimento



Fonte: <https://www.brasilit.com.br/produtos/telha-fibrocimento-ondulada> (2019)

O cimento Portland foi criado por Joseph Aspdin, um construtor inglês, que o patenteou em 1824. (CARVALHO e FILHO, 2016). De acordo com a Norma ABNT NBR 16.697 (2018), cimento Portland comum é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer, e durante a operação se adiciona a quantidade necessária de sulfato de cálcio. É constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2018), o cimento é uma das matérias mais consumidas pelo homem, devido as suas características que conferem as argamassas e concretos, tendo trabalhabilidade e moldabilidade, durabilidade e resistência. Existe diversos tipos de cimento Portland, e eles se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio e de adições que são acrescentadas no processo de moagem, como a escória, pozolanas e material carbonático.

De acordo com Lessa (2009), o cimento é um aglomerante que endurece em contato com a água, em ambiente aquoso ou aéreo. O Cimento Portland tipo CP II-32 é um cimento artificial, composto, devido à adição de calcário e com resistência mecânica à compressão de 32 MPA aos 28 dias de idade e é utilizado na fabricação da telha de fibrocimento, bastante consolidada no mercado.

Já o amianto, é constituído de um conjunto de minerais de silicato de magnésio e se dividem em dois tipos: crisotila e anfibólicos, uma das principais características é sua resistência à tração. A utilização da fibra de amianto no mercado brasileiro deu-se principalmente na fabricação de produtos de fibrocimento, mistura de cimento e fibras de amianto, de maneira expressiva as telhas (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

O amianto, é explorado no Brasil desde 1940, e segundo estatísticas a sua produção na última década é da ordem de 200.000 toneladas por ano. Devido a exposição ao material, contabiliza-se que cerca de 10.000 trabalhadores teriam sido contaminados na atividade de mineração. Informações de jornais e revistas divulgaram que em torno de 200.000 a 300.000 pessoas foram expostas ao amianto na construção civil, incluídas as fases de extração e manejo do material. (TERRA FILHO e BAGATIN, 2010).

Mudanças significativas no comércio mundial ocorreu entre o período de 1996/97, quando a França se tornou o primeiro país a banir o uso de amianto. (CHENUT; SALDANHA 2016). Atualmente, segundo a Secretaria Internacional de Banimento do Amianto (IBAS), estabelecida em 2000, que fornece um canal para a troca de informações entre grupos e pessoas que trabalham para conseguir uma proibição global do amianto e tentar aliviar os danos causados pelo amplo uso do material, mais de 60 países já baniram o uso do amianto, inclusive toda união europeia.

No Brasil, a proibição do uso do amianto se deu inicialmente com a Lei 9055/95, de forma que o material produzido começou a ser exportado para outros países. Essa proibição se deu devido ao perigo que a exposição e manipulação do amianto representa para a saúde pública. (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2010).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA na resolução nº 348, de 16 agosto 2004, considera telhas e demais objetos de amianto como resíduos perigosos, nocivos à saúde, oriundos do processo de construção.

Segundo o Critério de Saúde Ambiental nº 203/1998, da Organização Mundial da Saúde – OMS, a exposição ao amianto crisotila entre outros, aumenta os riscos

de asbestose, câncer de pulmão e mesotelioma, dependendo da exposição a que o indivíduo é submetido e que nenhum limite de tolerância foi identificado para os riscos de câncer.

Em novembro de 2017, em votação, onde resultou em 7 votos a 2, o Supremo Tribunal Federal – STF decidiu proibir, em todo o país, a produção, a comercialização e o uso do amianto tipo crisotila. O STF, declarou a inconstitucionalidade do artigo 2º da Lei Federal 9055/95, que dava permissão a utilização do amianto de maneira controlada.

O cenário envolvendo os resíduos de materiais contendo amianto é polêmico. De acordo com uma reportagem exibida pelo programa de televisão Fantástico no dia 12 de maio de 2019, no Brasil, atualmente, existe um movimento no Congresso Nacional para que a exploração do amianto volte, porém, a Associação Médica Brasileira – AMB, que reúne 60 entidades, onde faz parte de sua missão a assistência de qualidade à saúde da população brasileira, vê com extrema preocupação o movimento no Senado Federal.

No mercado brasileiro atualmente encontra-se produtos de fibrocimento sem amianto. Conforme relatório elaborado, vários materiais estão sendo utilizados em produtos, no intuito de encontrar algum substituto para o amianto, entre eles silicato de cálcio, fibra de carbono, fibra de celulose, fibra cerâmica, fibra de vidro, fibra de aço e algumas fibras orgânicas tais como aramida, polietileno, polipropileno e politetrafluoretileno entre eles silicato de cálcio, fibra de carbono, fibra de celulose, fibra cerâmica, fibra de vidro, fibra de aço e algumas fibras orgânicas tais como aramida, polietileno, polipropileno e politetrafluoretileno (MARQUES et al., 2016).

## **2.4 Requisitos Técnicos da Telha Referencial**

Com a preocupação em realizar construções de baixo impacto ambiental e custos reduzidos, usando técnicas construtivas sustentáveis, de materiais recicláveis, surge também os critérios de qualidade e segurança para esses novos produtos, onde cada país possui um sistema de avaliação e classificação de desempenho ditado por normas (SCHELB, 2016).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015), o objetivo da normalização é o estabelecimento de soluções, por consenso das partes interessadas, para assuntos que têm caráter repetitivo, sendo uma ferramenta na autodisciplina simplificando os assuntos. São os objetivos segundo ABNT ISO/IEC, guia 2:2006, a segurança, a proteção do produto, controle de variedade, proteção do meio ambiente, eliminação de barreiras técnicas e comerciais, compatibilidade e a comunicação.

Segundo as restrições da norma ABNT NBR 13858-2 (2009), em aspecto visual, as telhas não devem apresentar defeitos que tragam prejuízos a sua qualidade, como fissuras na superfície, bolhas, esfoliações, degradações e quebra, não devem apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior.

Segundo a norma ABNT NBR 15575-5 (2013), a superfície das telhas, dispostas no topo da construção, tem a função de assegurar a estanqueidade às águas pluviais, sendo leves ou intensas, protegendo os demais sistemas da edificação habitacional, sendo assim necessário o teste de impermeabilidade e absorção de água, para que assegurem a não ocorrência de umidade e de suas consequências estéticas no ambiente habitável.

Quando submetidas ao ensaio de impermeabilidade, os corpos de prova não podem apresentar vazamento ou formação de gotas na face oposta à da ação da água, e ao ser submetido ao ensaio de absorção, os corpos de prova devem apresentar teor igual ou inferior a 37%, conforme descreve a ABNT NBR 7581, 1993.

Segundo a norma ABNT NBR 15575-5 (2013), as telhas devem apresentar um nível satisfatório de segurança contra ruína, para que não prejudique a funcionalidade do sistema de cobertura, considerando as ações possíveis de ocorrer durante a vida útil de projeto da edificação, tendo a necessidade da realização do ensaio para a obtenção da carga de ruptura, pelo ensaio de resistência a flexão.

As telhas são distinguidas por classe, onde são classificadas de acordo com a altura da onda e a carga mínima de ruptura, indicada na tabela, referente a norma ABNT NBR 15210-1 (2005).

**Figura 2.2** Tabela 1 – Classificação das telhas onduladas.

Classe	Descrição	$h$ mm
A	Ondas pequenas	$15 \leq h \leq 25$
B	Ondas médias	$25 < h \leq 40$
C	Ondas grandes	$40 < h \leq 60$
D	Ondas muito grandes	$60 < h \leq 150$

Fonte: ABNT NBR 15210-1 (2005).

**Figura 2.3** Tabela 2– Carga mínima de ruptura à flexão.

Categoria	Carga de mínima de ruptura à flexão									
	N/m									
	Classes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A ( $15 \leq h \leq 25$ )	600	800	1 000	1 400	-	-	-	-	-	-
B ( $25 < h \leq 40$ )	-	800	1 000	1 400	2 000	2 500	3 300	-	-	-
C ( $40 < h \leq 60$ )	-	-	-	-	-	2 500	3 300	4 250	-	-
D ( $60 < h \leq 150$ )	-	-	-	-	-	-	-	4 250	5 600	7 400

NOTAS

- 1 Algumas categorias podem apresentar mais de uma espessura nominal
- 2 Para todas as classes, não deve haver caminhamento direto sobre as telhas.

Fonte: ABNT NBR 15210-1 (2005).

**Figura 2.4** Tabela 4– Espessura.

Categorias	Espessura mínima mm
A	3,5
B	3,5
C	4,5
D	5,5

Fonte: ABNT NBR 15210-1 (2005).

Além do desempenho físico exigido por normas, há os critérios de qualificação em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e

economia, estabelecendo requisitos mínimos de desempenho para os diferentes tipos de sistemas de cobertura, como descreve a ABNT NBR 15575-5 (2013).

Muitos países já desenvolveram metodologia de avaliação para esses materiais sustentáveis, que são conhecidos como os selos verdes (MEDEIROS et al., 2014).

De acordo com SILVA (2017) descrito no informativo nº 8 - fevereiro 2017 do Meio ambiente e construção, os Selos verdes são rótulos ou etiquetas dos produtos, que garantem ter o mínimo de impacto ambiental, decorrente de toda sua cadeia produtiva, desde a extração da matéria prima, o transporte do material, processo industrial até sua comercialização. Para a obtenção desses selos, o material deve atender os seus devidos requisitos de qualidade.

## **2.5 Telhas Ecológicas**

Segundo Schelb (2016), para certificar se o material é ecologicamente correto ou se causa menos impacto ao meio ambiente, é necessário que sejam feitas verificações em relação a matéria-prima, se ela é virgem ou se é reciclada, e em como ela é extraída da natureza, se preocupando também se é um recurso renovável ou não, além da preocupação com o processo produtivo do material, e se é gerado algum tipo de resíduo na produção do material, e na embalagem de transporte.

Na busca da sustentabilidade, a telha e seu ciclo de vida, tem adquirido cada vez mais um espaço no mercado construtivo, quanto a menor exploração de recursos naturais renováveis, à durabilidade, um reduzido consumo de água e de energia e o menor teor de poluentes que são gerados nas fábricas e no transporte das matérias-primas e dos produtos. Conforme a norma ABNT NBR 15.575 não há distinção entre materiais ruins ou bons, mas sim materiais com características próprias que devem consideradas na escolha e no momento da aplicação (SOUZA et al., 2018).

### 2.5.1 Telhas Ecológicas Produzida com Papel Reciclado

O resíduo de papel, que de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da resolução nº 469, de 29 de julho de 2015, é classificado como resíduo da classe B, que são os resíduos recicláveis para outras destinações, ou seja, que podem entrar no processo produtivo de outro material, é também considerado um material com boa reciclabilidade, considerando a viabilidade técnica e econômica da produção das matérias de reutilização, sua coleta deve ser de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, foi lançado em 23 de novembro de 2011, o Plano de ação para a Produção e Consumo Sustentável – PPCS, ações criadas com o intuito de direcionar o Brasil para padrões mais sustentáveis de produção e consumo.

O Brasil segundo a CNI (2016), conta com recursos naturais e apresentam inúmeras oportunidades e desafios para a indústria Brasileira, como a cobertura florestal que corresponde a 60% do território.

O papel é um material que produz fortes impactos negativos ao nível de produção. Embora a matéria prima se considere renovável, tem significativa perda de sua característica e da sua especificidade. O papel é um material biodegradável e orgânico, mas em caso de aterros com pouca humidade o processo de degradação se torna lento, chegando a demorar de 3 meses a 100 anos para se decompor. (MEIRA, 2002).

De acordo com Yoshimura (2012), são fabricadas telhas ecológicas a partir de papel, um resíduo de pós-consumo, tendo o mesmo propósito das telhas convencionas e a mesma capacidade de proteger o ambiente, tendo como vantagem sua leveza, flexibilidade, ajudar na redução de ruídos, na diminuição da temperatura e incentivar a reciclagem do papel.

A telha ecológica de papel, tem em sua constituição a fibra vegetal, água e emulsão asfáltica (ou betume), sendo a fibra extraída do resíduo de papel, e o betume por ser um produto composto por uma mistura de hidrocarbonetos, tendo a capacidade de conservar suas propriedades durante muito tempo (LESSA, 2009).

**Figura 2.5** Telha de Papel



Fonte: <http://www.tecolit.com.br/galeria> (2019)

Segundo estudos de Lessa (2009), a água e o papel são usados na primeira etapa do processo de fabricação da telha, após o armazenamento é feito o corte do papel em tiras ou pequenos pedaços, para serem colocados na bateadeira com água, após homogeneizada, a massa é lançada em uma esteira para torná-la menos fluida, até formar a manta de papel e ser encaminhada para moldagem e corte, e por fim as telhas são levadas para um banho de betume a uma temperatura acima de 100°C.

### 2.5.2 Telhas de Fibras de Coco

Um outro produto que vem sendo estudado e apresentado ao mercado com grande potencial de uso, e a base de materiais ecológicos, é a telha com fibra de coco. As cascas de coco são resíduos gerados após o consumo da água e da polpa, que são as partes principais do fruto, e a constituição de suas fibras vegetais são de

celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais, sendo a celulose o principal constituinte estrutural, responsável pela estabilidade e resistência das fibras (SILVA et al., 2000).

**Figura 2.6** Telha de Fibra de Coco



Fonte: <http://conexaoplaneta.com.br/> (2019)

De acordo com Passos (2005), as cascas de coco quando destinadas em aterros em condições anaeróbicas, provocam emissão de um dos gases de efeito estufa, o metano, sendo a telha de fibra de coco após impermeabilização com cimento asfáltico, uma proposta de aproveitamento para amenizar os impactos provocados pelos gases oriundos dessas cascas.

Segundo estudos de Silva et al. (2000), o processo de produção das telhas é realizado com a mistura de água, fibra de coco e papel usado, com as quantidades de 1,5 Kg de material sólido e 60 litros de água, e agitados dentro de um refinador por 10 min. O material é recolhido para um recipiente plástico e transferido para um equipamento para a retenção da massa de papel/fibras de coco, onde uma bomba de vácuo faz a sucção da água. O material formado após esse processo é levado à estufa por 24 horas a uma temperatura de 70°.

### 2.5.3 Telhas Treta Pak

Com o objetivo de gerar novos materiais a partir da reciclagem, o Tetra Pak, fabricante das embalagens longa vida, desenvolveu parcerias com diversos recicladores, na fabricação de vários produtos à base das embalagens cartonadas, que são compostas por papel, polietileno e alumínio.

**Figura 2.7** Telha ecológica Tetra Pak



Fonte: <http://www.ecoeficientes.com.br/guia-de-empresas/telha-de-tetra-pak/> (2019)

De acordo com Neves et al. (2012), foram indicadas em diversas pesquisas que a preocupação ambiental é a principal motivação para as pessoas participarem de práticas relacionadas com a reciclagem. As embalagens longa vida representam boa parte do lixo proveniente das embalagens vindo de supermercados, e tendo uma reciclagem complicada por ser compostas de diferentes tipos de materiais.

Uma alternativa para a reciclagem das embalagens é serem empregadas como um novo material para a indústria da construção civil, proporcionando redução desses resíduos na natureza. No processo da reciclagem, é necessária a separação

das camadas que a compõe. A composição de uma embalagem é em média de 75% papel, 20 % de polietileno e os outros 5% de alumínio (NEVES, 1999).

Segundo Araújo et al. (2008), no processo de fabricação das placas e telhas, o polietileno é triturado por um moinho, para facilitar sua fusão e dar maior homogeneidade, após esse procedimento o material é posto em formas para formatação, onde são introduzidas em prensas para ser compensado.

Essas prensas são projetadas para trabalhar em temperaturas menores que 160°, e seus sistemas de aquecimento são através de resistência elétricas, a vapor e a óleo térmico. Após a fusão as placas passam pelo processo de resfriamento para curar e endurecer, e as telhas chegam a pesar a metade da convencional de fibrocimento (12kg), além de ser durável e muito resistente ao tempo, deixa o ambiente mais fresco e agradável, por atuar na reflexão da luz solar (ARAÚJO et al., 2008).

#### 2.5.4 Telha PET

Utilizadas em larga escala pelo mercado de embalagens, as garrafas plásticas conhecidas comumente como PET, apresentam este nome devido ao polímero pelo qual são formadas, o Polietileno Tereftalato, que é um dos mais produzidos no mundo, alcançando no final da década de 90 uma produção mundial de aproximadamente  $2,4 \times 10^{10}$  kg. Seu sucesso deve-se à sua excelente relação entre as propriedades mecânicas, térmicas e o custo de produção (ROMÃO et al, 2002).

Segundo Romão et al. (2009), apesar de todas as suas vantagens e inúmeras aplicações, esse material pode ser considerado como um dos grandes poluidores da natureza, devido ao seu descarte de forma inadequada pelo homem, sendo a sua reciclagem uma solução para minimizar esse impacto ambiental.

Reciclagem significa transformar objetos usados em novos produtos para consumo, com a busca da sustentabilidade, muitas pesquisas são feitas nessa área,

para o uso do PET em materiais, como o de cobertura, onde seu ciclo consiste na recuperação, valorização e transformação (CEMPRE, 2008).

**Figura 2.8** Telha de Pet



Fonte: <http://telhasleve.com.br/garrafas-pet/> (2019)

Segundo dados de 2014 da Associação Brasileira de Embalagens PET – ABIPET, a reciclagem do PET colabora para preservação ambiental, e alcançam os três pilares do desenvolvimento sustentável, que são: benefício social; benefício sustentável e benefício ambiental, além de ser economicamente viável a indústria recicladora do PET, pois um terço do faturamento da Indústria Brasileira do PET, provem da reciclagem, gerando imposto, emprego, renda e todos os demais benefícios de uma indústria, e com seu crescimento anual constante, permite planejar novos investimentos.

Estudo sobre a incorporação do PET como telhado vem se fortalecendo e se aprimorando em relação à durabilidade e resistência do mesmo, onde além de possuir alta resistência mecânica e química evita a passagem de gases e odores. Assim a reciclagem do PET apresenta significativas vantagens para a sociedade e para o meio ambiente (SOUZA et al.,2018).

Em um processo de fabricação da telha ecológica de resíduo plástico (PET), os materiais passam por um processo de lavagem e limpeza para a retirada de contaminação que possa haver no material, segundo publicação da empresa Telhas Leves em maio de 2016, fabricante de telhas plásticas.

Para utilização de telhas plásticas de PET, é necessário atender requisitos, conforme a norma ABNT NBR 15.575 (2013), com o objetivo de promover segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

### 3 METODOLOGIA

A seguinte pesquisa prática experimental, desenvolveu-se seguindo uma linha de raciocínio partindo da análise bibliográfica, definições de conceitos, produção de corpos de provas, testes e reunião de informações para comparação e apresentação de resultados e conclusões.

Segundo Marconi e Lakatos (2003) uma pesquisa exploratória tem como objetivo fornecer maior entendimento do problema através de análises bibliográficas. Para o desenvolvimento da presente pesquisa, buscou-se conhecimento sobre as telhas como elemento construtivo, sobre os materiais recicláveis e a possível utilização dos mesmos no setor da construção civil.

Ainda segundo Marconi e Lakatos (1994) uma pesquisa pode ser classificada como explicativa devido a sua finalidade de explicar a fundo um determinado tema, explicando a razão e o porquê das coisas. A seguinte pesquisa apresenta-se definições de conceitos para entendimento melhor do tema do trabalho, assim como também realiza a produção de corpos de provas e os ensaios laboratoriais, relacionando teoria e prática no processo da pesquisa científica.

De acordo com Gil (2008), uma pesquisa é definida como quali-quantitativa, quando se apresenta dados em termos de quantidade, números, estatísticas e cálculo juntamente com a posterior análise dos dados. Desenvolveu-se na pesquisa cálculos com os valores descobertos nos ensaios para posterior obtenção das médias aritméticas das amostras ensaiadas em laboratório. Para a finalização apresenta-se uma justificativa do resultado final obtido sobre a viabilidade da produção das telhas de materiais reciclados.

Para o desenvolvimento do trabalho serão realizados os estudos bibliográficos e testes previstos na Associação Brasileira de Normas Técnicas e nas Normas internacionais ASTM - American Society for Testing and Materials.

### 3.1 Produção dos corpos de prova

Inicialmente, produziu-se 22 corpos de prova das telhas de materiais reciclados, com a proporção de 30% de pet triturada manualmente, como pode-se observar na figura 3.1. São necessárias aproximadamente 10 garrafas pet trituradas para cada corpo de prova.

**Figura 3.1** Pet triturado.



Fonte: Autoras (2019).

Outro material constituinte é o papel, onde utilizou-se folhas de papel sulfite (aptas a reciclagem) na proporção de 70%, como pode-se observar na figura 3.2.

**Figura 3.2** Papel apto à reciclagem depois de batido com água.



Fonte: Autoras (2019).

O elemento aglutinante produzido e o cimento Portland, figura 3.3, foram utilizados na quantidade necessária para unir de forma satisfatória todos os elementos da composição dos corpos de prova.

**Figura 3.3** Cimento Portland e aglutinante.



Fonte: Autoras (2019).

Em um recipiente misturou-se os materiais constituintes, como pode-se visualizar na figura 3.4.

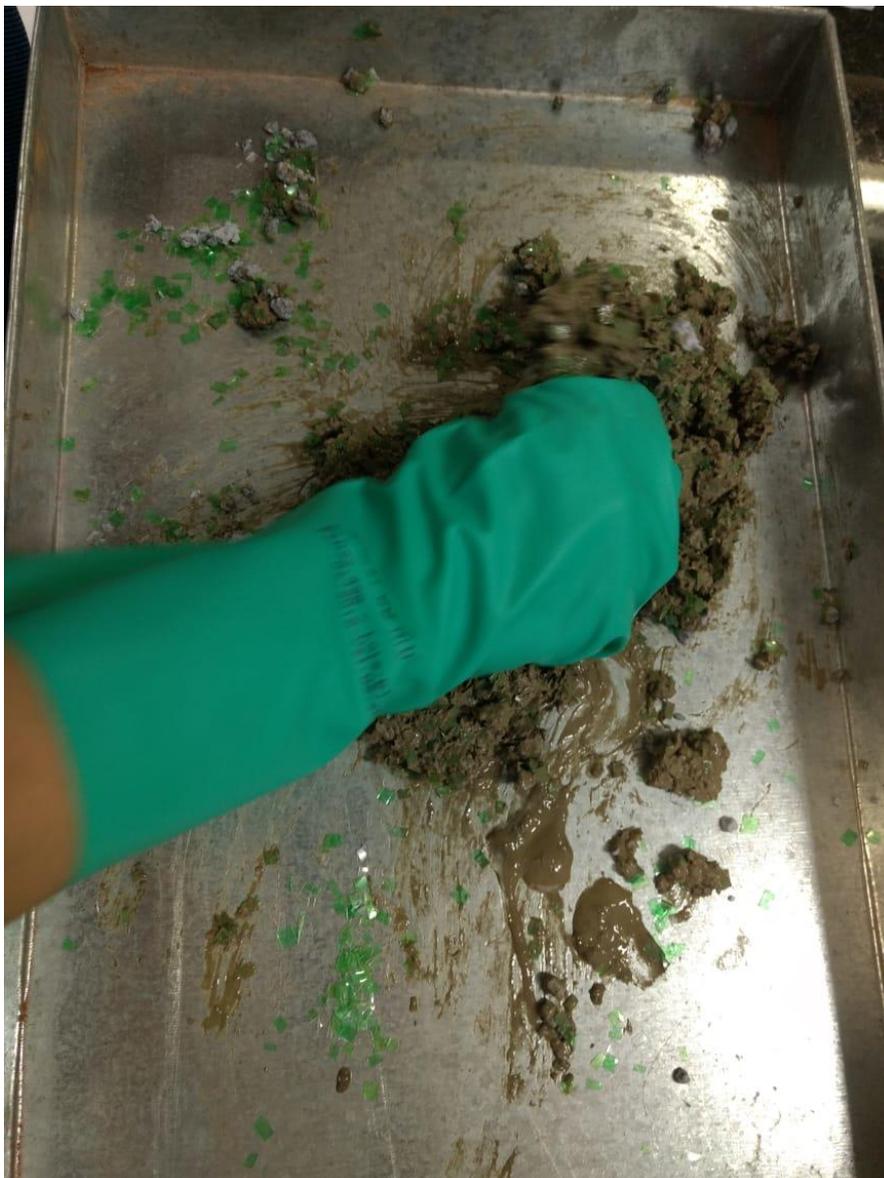
**Figura 3.4** Mistura dos materiais pet, papel e cimento Portland.



Fonte: Autoras (2019).

Após a mistura dos elementos adicionou-se o aglutinante “grude” produzido de polvilho, cola e água.

**Figura 3.5** Mistura dos materiais pet, papel, cimento Portland e aglutinante.



Fonte: Autoras (2019).

Em seguida o conteúdo (massa da mistura), foi colocado sobre um molde de telha ondulada feito com as mesmas dimensões das telhas manufaturadas, com a função de moldar a mistura para obtenção do formato ondulado conforme a figura 3.6.

**Figura 3.6** Corpo de prova no molde.



Fonte: Autoras (2019).

Ficou por 24 horas em repouso à sombra para adquirir consistência, sendo colocadas ao sol após esse período até que ocorrer completa secagem e endurecimento.

Como forma de impermeabilizar os corpos de prova, foi utilizada manta líquida branca quartzolit, comprado em loja de materiais de construção, figura 3.7.

**Figura 3.7** Seção transversal do corpo de prova impermeabilizado.



Fonte: Autoras (2019).

Como pode-se observar na figura 3.8, os corpos de prova foram confeccionados na forma geométrica retangular, com dimensões de aproximadamente 230 mm de comprimento e 330 mm de largura.

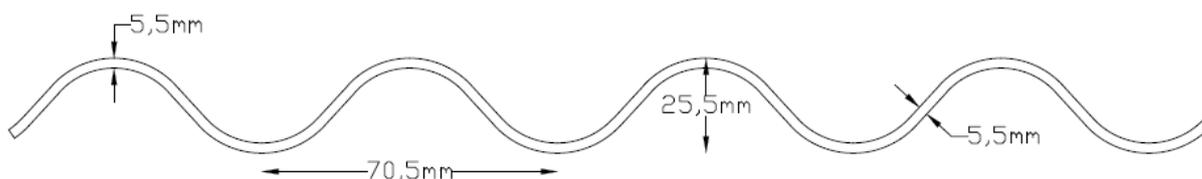
**Figura 3.8** Corpos de prova na forma geométrica retangular.



Fonte: Autoras (2019).

Como controle foram utilizados corpos de prova de uma telha convencional plástica ondulada vendida no mercado. A seguir, na figura 3.9, apresenta-se as características dos corpos de prova em sua forma geométrica transversal, com espessura e altura de ondulação.

**Figura 3.9** Características geométricas da seção transversal dos corpos de prova.



Fonte: Autoras (2019)

A seguir foram realizados os ensaios laboratoriais para assim fazer os cálculos das médias dos resultados obtidos, para posterior comparação dos mesmos.

### **3.2 Materiais e Métodos**

Os ensaios para caracterização das telhas produzidas com materiais recicláveis foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da instituição Faculdades Doctum de Caratinga, situada na cidade de Caratinga/MG, para posterior apresentação de suas propriedades.

Para confecção dos corpos de prova utilizou-se os seguintes materiais em sua composição: Garrafas PET (Polietileno tereftalato) trituradas, folhas de papel sulfite (aptas à reciclagem), Cimento Portland e como elemento aglutinante “grude” produzido de polvilho, cola e água.

#### **3.2.1 Caracterização Mecânica**

##### Resistência à flexão

Neste ensaio os 10 corpos de prova foram submetidos a tensões de flexão, conforme a norma ASTM D 790/98, “Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material”, baseado no trabalho de Araújo et al. (2008).

Para tanto, utilizou-se uma prensa hidráulica manual digital com indicador digital de força aplicada (marca Contenco, modelo I-3001-C) para uniformizar a tensão nos corpos de prova, que foram colocadas sob dois apoios em uma distância de 143 mm.

Posicionou-se um suporte na parte central ao longo da extensão do corpo de prova, assim a área para aplicação é uniforme para força ser aplicada na região

central dos mesmos, conforme mostra a figura 3.10. A finalização do ensaio ocorreu ao ser constatado a ruptura da telha.

**Figura 3.10** Prensa hidráulica utilizada no ensaio de flexão.



Fonte: Autoras (2019).

Anotou-se os valores das cargas lidos pela prensa hidráulica quando houve a ruptura de cada corpo de prova, para seguidamente serem calculadas as cargas de ruptura (N) e os valores de módulo de resistência a flexão (MPa).

De acordo com a ABNT NBR 13.818 (1997), foram calculados os valores de carga de ruptura (N) e os valores de módulo de resistência a flexão (MPa).

Um projeto de flexão para determinar a resistência requer a determinação do módulo de resistência a flexão, que é a relação da característica geométrica da telha, que se opõe a flexão, essas propriedades são importantes para o controle de qualidade e para avaliar o desempenho dos materiais. Os valores de módulo de resistência a flexão são dados em (Mpa), onde Mega Pascal é a pressão exercida por uma força uniformemente distribuída sobre uma superfície, onde 1 pascal

equivale a 1 N/m<sup>2</sup> (1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>) e o M é a representação do mega (10<sup>6</sup>), para representar valores maiores (HIBBELER, 2010).

Por fim, para a verificação a resistência à flexão das telhas de materiais reciclados, realizou-se os cálculos utilizando as seguintes equações da Norma ABNT NBR 13.818 (1997):

$$CR = \frac{FL}{b}$$

Onde:

CR é a carga de ruptura (N);

F é a força de ruptura;

L é a distância entre as barras de apoio (mm) e;

b a largura do corpo de prova (mm).

$$MRF = \frac{3FL}{2be^2}$$

Onde:

MRF é o módulo de resistência á flexão (MPa);

b é a largura do corpo de prova (mm) e;

e a espessura do corpo de prova (mm).

### 3.2.2 Caracterização físico-química

#### Absorção de água

Confeccionados 6 corpos de prova das telhas de material reciclado para a determinação da absorção de água, este ensaio foi realizado de acordo com a

Norma ABNT NBR 13858-2 (2009) e classificando de acordo com as condições específicas ABNT NBR 7581 (1993), baseado em DIAS (2011), onde para determinar a taxa relativa de absorção da água, os corpos de prova foram imersos em água (temperatura ambiente) por 24 horas, como podemos observar na Fig. 3.11

**Figura 3.11** Telhas imersas em água para o teste de absorção.



Fonte: Autoras (2019).

Decorrido o tempo de repouso, as telhas foram pesadas e suas massas úmidas anotadas. Em seguida, as telhas foram colocadas na estufa à 105°C por mais 24 horas. As massas secas foram anotadas para calcular a porcentagem de absorção de água. Para o cálculo da absorção de água foi utilizada a equação:

$$\text{Absorção (\%)} = \frac{M_{úmida} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100,$$

Onde:

Múmida é a massa da amostra inicial úmida, em quilogramas.

Mseca é a massa da amostra seca em quilogramas.

### Permeabilidade à água

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5642 (1993), foi confeccionado 6 corpos de prova, e classificado de acordo com a Norma ABNT NBR 7581 (1993), segundo Henriques et al. (2014), foi utilizado um tubo de PVC com seção circular, reto, aberto nas extremidades, com diâmetro interno de 24,5 mm e altura 260 mm apoiado na parte superior da telha, para formar uma coluna d'água de 250 mm como mostra a figura 3.12.

**Figura 3.12** Esquema do ensaio de permeabilidade à água.



Fonte: Autoras (2019).

Em seguida, em ambiente coberto e ventilado, os corpos de provas foram mantidos como no esquema durante 24 horas.

Após esse período de tempo, foi observado a parte inferior dos mesmos para verificar se houve ou não vazamento ou formação de gotas. Para aprovação no teste, não é aceito vazamento, ou formação de gotas na parte inferior dos corpos de prova, após o final do ensaio.

Posteriormente, após o fim de todos os ensaios laboratoriais, foram realizados cálculos com os valores descobertos nos testes para obtenção das médias aritméticas.

Para os cálculos de obtenção das médias aritméticas das amostras ensaiadas em laboratório, usou-se a seguinte equação:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

Onde:

$\bar{X}$  = símbolo utilizado para representar a média aritmética;

$\sum_{i=1}^n x_i$  = somatório dos valores das observações;

$n$  = quantidade de observações.

O objetivo inicial do método estatístico é conceder a descrição de uma sociedade de forma quantitativa, de modo que, considera a mesma como um todo organizado. (MARCONI e LAKATOS, 1994).

Segundo Marconi e Lakatos (1994), especifica-se as características dos elementos dessas classes e em seguida mede-se sua importância ou variação ou alguma outra propriedade qualificável que contribua para a sua melhor compreensão.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Em relação aos requisitos técnicos, de acordo a tabela 1 da Norma ABNT NBR 15210-1 (2005), as telhas manufaturadas de materiais reciclados, entram na categoria B na classificação quanto altura nominal de ondulação, onde as medidas especificadas na tabela para essa categoria são:  $25\text{mm} < h \leq 40\text{mm}$  e as telhas manufaturadas têm 25,5 mm de altura de onda. Assim, classificam-se como telhas de ondas médias.

Quanto a classificação referente a espessura das telhas, ainda de acordo com a norma ABNT NBR 15210-1 (2005), as telhas de materiais reciclados classificam-se como categoria D de acordo com a especificação da tabela 4, pois apresentam a medida de 5,5mm de espessura.

Sobre os ensaios laboratoriais, o primeiro realizado onde se definiu a resistência a flexão das telhas, os corpos de prova foram submetidos a tensões de flexão, conforme a norma ASTM D 790/98.

Na tabela abaixo, apresentam-se as áreas dos corpos de prova, os valores das cargas de ruptura (N), os valores de módulo de resistência a flexão (MPa) e a média final obtida pelos valores de cada corpo de prova na determinação da resistência a flexão de acordo com a ABNT NBR 13.818 (1997).

**Tabela 4.1** Determinação da resistência a flexão.

<b>Determinação da Resistência a Flexão</b>			
<b>CP N°</b>	<b>Área (cm)</b>	<b>Carga de Ruptura (N)</b>	<b>Módulo de Resistência (MPa)</b>
1	24x30	2800	31
2	23x30	2600	29
3	23,5x32	2600	26
4	23,5x33	2100	19
5	23x29	1700	20
6	23x29	1700	20
7	20x28	2400	31
8	20x29	1600	19
9	20x29	2000	24
10	23x32	2500	25
-	-	-	-
<b>Média</b>	-	2200	24

Fonte: Autoras (2019).

Apresentados os valores após o ensaio da resistência a flexão e obtido o valor final de média, determinou-se que as telhas de 30% pet apresentaram um bom resultado de resistência, se tratando de um material de pouca espessura e sem função estrutural.

Portanto segundo a norma ABNT NBR 15575-5 (2013), as telhas apresentam um nível satisfatório de segurança contra ruína, de modo que não prejudica a funcionalidade do sistema de cobertura.

Com o ensaio de absorção de água realizado de acordo com a norma ABNT NBR 13.858-2 (2009), determinou-se que a taxa de absorção de água das telhas de materiais reciclados. Na tabela abaixo, relatou-se os valores das massas úmidas e secas dos corpos de prova utilizados e a taxa de absorção é expressa em porcentagem de água absorvida, em relação a massa final (Massa seca). Apresenta-se também a média final obtida pelos valores de cada corpo de prova no ensaio de absorção de água.

**Tabela 4.2** Determinação de massa e da absorção de água.

<b>Determinação de massa e da absorção de água</b>			
<b>CP N°</b>	<b>Massa úmida (g)</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>Absorção (%)</b>
<b>1</b>	397,49	260,70	52,47
<b>2</b>	518,54	337,25	53,75
<b>3</b>	335,20	256,84	30,50
<b>4</b>	348,16	250,88	38,77
<b>5</b>	350,55	254,78	37,58
<b>6</b>	314,97	201,59	56,24
<b>-</b>	-	-	-
<b>Média (%)</b>	-	-	44,88

Fonte: Autoras (2019).

O valor final obtido pela média dos resultados de cada corpo de prova após o ensaio de absorção de água apresentou o valor de 44,88%. Devido a esse resultado observa-se que, as telhas manufaturadas de materiais reciclados se mostram não qualificadas em relação a taxa mínima de absorção de água exigida pelas condições específicas da Norma ABNT NBR 7581 (1993), que deve ser menor ou igual a 37%.

Segundo Henriques (et al., 2014), o resultado de uma maior absorção de água em telhas que é utilizado o papel como material constituinte, pode estar associado ao carácter hidrófilo da celulose, que aumenta a capacidade de absorção e retenção de água.

No ensaio realizado de acordo com a norma ABNT NBR 5642 (1993), verificou-se a permeabilidade à água. Na tabela a seguir, apresenta-se as análises pós-ensaio de impermeabilidade realizado em cada corpo de prova. Relatou-se também o resultado final de média após a análise dos resultados apresentados por cada corpo de prova ao término do ensaio de permeabilidade à água.

**Tabela 4.3** Impermeabilidade das telhas

<b>Determinação da Impermeabilidade</b>	
<b>CP N°</b>	Não apresentou vazamento
<b>1</b>	Não apresentou vazamento
<b>2</b>	Não apresentou vazamento
<b>3</b>	Não apresentou vazamento
<b>4</b>	Não apresentou vazamento
<b>5</b>	Não apresentou vazamento
<b>6</b>	Não apresentou vazamento
<b>-</b>	-
<b>Média (%)</b>	100% das amostras não apresentaram vazamento.

Fonte: Autoras (2019).

Pode-se comprovar que corpos de prova que foram submetidos ao ensaio para verificação da permeabilidade não apresentaram formação de gotas em sua face inferior, nem aparecimento de manchas decorrentes da presença de água, ou seja, não apresentaram vazamento. Dessa forma os corpos de prova das telhas de materiais reciclados aderiram as qualificações especificadas pela Norma ABNT NBR 7581 (1993). Com isso, as telhas com a quantidade de 30% de pet foram aprovadas no teste de permeabilidade a água.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Visto que há várias maneiras de evitar os impactos ambientais e preservar o meio ambiente, o setor da construção civil, com criatividade para utilização de materiais recicláveis criando novos produtos para construção é de grande importância para o desenvolvimento sustentável do país.

Diante disso, o objetivo desse estudo foi produzir telhas onduladas manufaturadas a partir de papel e garrafas PET, e analisar a resistência à flexão, absorção de água e a permeabilidade à água para averiguar a viabilidade da produção das telhas de materiais recicláveis como alternativa de um elemento construtivo ecológico.

De acordo com o estudo realizado, observando os parâmetros técnicos estabelecidos nas normas brasileiras, conclui-se que as telhas manufaturadas produzidas a partir de materiais reciclados, obtiveram resultados satisfatórios nos testes de impermeabilidade e resistência a flexão, pois atenderam ao especificado e obtiveram uma ótima carga de ruptura por ser um material prismático de baixa espessura, e sem função estrutural. Todavia, quanto ao teste de absorção de água, a telha produzida não atendeu a porcentagem da taxa mínima de absorção de água exigida pelas condições específicas da norma ABNT NBR 7581 (1993), que deve ser menor ou igual a 37%, sendo uma característica negativa (em casos de chuva por um longo período de tempo). Portanto, o presente trabalho atendeu parcialmente aos requisitos técnicos avaliados.

Deste modo, os resultados obtidos a partir da produção e avaliação das telhas manufaturadas com materiais reciclados nos mostram ser um projeto com potencial alternativo de uso e que pode ser de grande valor no mercado da reciclagem, para a preservação ambiental e a inserção de sustentabilidade na cadeia econômica.

Contudo, sugere-se para trabalhos futuros, uma melhoria na produção para um melhor resultado na parte de absorção de água, aumentando a porcentagem de pet e/ou uma melhor impermeabilização. Para produção em larga escala, além de equipamentos para triturar o pet, recomenda-se uma prensa e forma adequada para a padronização das telhas, e aparelhos de ensaios específicos.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 790/98**: flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating material.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/>. Acesso em: 29 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM PET. ABIPET, [S. l.], 2014. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=49> Acesso em: 26 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/objetivos>. Acesso em: 28 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5732**: cimento Portland comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimento: especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13858-2**: telhas de concreto parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15210-1**: telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios parte 1: classificação e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-5**: Edificações habitacionais: Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7581**: telha ondulada de fibrocimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5642**: telha de fibrocimento: verificação da impermeabilidade. Rio de Janeiro, ABNT 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISSO/IEC GUIA 2:2006**: Normalização e atividades relacionadas: vocabulário geral. Rio de Janeiro, ABNT 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697**: cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro, ABNT 2018. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14001**: sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001**: sistemas de gestão da qualidade: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 26000**: diretrizes sobre responsabilidade social. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ARAUJO, Alexandre Feller. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa: estudo em uma empresa do setor de construção civil**. 2002. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84192/190428.pdf?sequence>. Acesso em: 1 mar. 2019.

ARAUJO, D.C., MORAIS, C.R.S., ALTIDES, M.E.D. **Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares**, Paraíba, 2008. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/70/97>. Acesso em: 5 jun. 2019.

ARAUJO, L.C., BRITO, E.R., SILVA, A.N. **Telhas ecológicas de PET gerenciamento de qualidade**, Manaus, 2019. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/telhas-ecologica-de-pet-gerenciamento-da-qualidade>. Acesso em: 27 mar. 2019.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal – STF. **Lei Federal nº 9.055, de 1 de junho de 1995**. Art. 2º O asbesto/amianto da variedade crisotila (asbesto branco), do grupo dos minerais das serpentinas, e as demais fibras, naturais e artificiais de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim, serão extraídas, industrializadas, utilizadas e comercializadas em consonância com as disposições desta Lei. Parágrafo único. Para os efeitos desta Lei, consideram-se fibras naturais e artificiais as comprovadamente nocivas à saúde humana. STF, 2017. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/111906/lei-9055-95#art-2>. Acesso em: 25 mar. 2019.

BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **CERÂMICA**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 178-189, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2019.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

CHENUT, K.M.; SALDANHA, J. **O caso do amianto: os limites das soluções locais para um problema de saúde global**, São Paulo, 2016. Disponível em : <http://www.scielo.br/pdf/ln/n98/1807-0175-ln-98-00141.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2019.

COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Dossiê** amianto Brasil: Relatório do grupo de trabalho da comissão de meio ambiente e desenvolvimento sustentável da câmara dos deputados destinado à análise das implicações do uso do amianto no Brasil. Brasília, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/73741273/DOSSIE-AMIANTO>. Acesso em: 29 mar. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI [S. I.], 2016. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>. Acesso em: 29 mar. 2019.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. [S. I.], 2008. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 348**. [S.I.], 16 agosto 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>. Acesso em: 28 mar. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 469**. [S. I.], 29 julho 2015. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>. Acesso em: 28 mar. 2019.

DIAS, C.M.R. **Fibrocimento com graduação funcional**. 2011. 173 P. Tese apresentada à escola politécnica de São Paulo para obtenção de título de Doutor em engenharia de construção civil e urbana, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-31052011-164232/.php> . Acesso em: 15 fev. 2019.

DUARTE, Bruno Andrade. **Preocupações de sustentabilidade e especificações técnicas de obras**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, [S. I.], 2009. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58261/1/000142438.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2019.

FANTÁSTICO. **Comissão do Senado vai pedir reabertura de mina de amianto, minério que pode provocar câncer**. Rio de Janeiro, 12 maio 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2019/05/12/funcionarios-protestam-pela-reabertura-de-mina-de-amianto-em-go-minerio-que-pode-provocar-cancer.ghtml>. Acesso em: 5 jun. 2019.

FONSECA, L.H.A. **Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HENRIQUES, J.D.O *et al.* Produção de Telha de Fibrocimento sem Amianto. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer, [S. l.], ano 2014, v. 10, p. 2643-2655, 1 dez. 2014.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. 7° ed. São Paulo: ABDR, 2010. 15p, 401p.

HIPOLITO, I.S.; HIPOLITO, R.S.; LOPES, G.A. **Polímeros na Construção Civil. X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/5518429.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

LESSA, Mara Livia Santos. **Crerios de sustentabilidade para elementos construtivos: um estudo sobre telhas “ecológicas” empregadas na construção civil**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. Disponível em: [file:///C:/Users/kelly/OneDrive/Documentos/Artigos/Dissertação-2009-Mara%20Lessa%20Crit\\_%20sustab\\_%20apli\\_%20elem\\_%20const\\_%20estudo%20telha%20ecologica.pdf](file:///C:/Users/kelly/OneDrive/Documentos/Artigos/Dissertação-2009-Mara%20Lessa%20Crit_%20sustab_%20apli_%20elem_%20const_%20estudo%20telha%20ecologica.pdf). Acesso em: 25 mar. 2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas S.A., 1994.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: [https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy\\_of\\_historia-i/historia-ii/china-e-india](https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india). Acesso em: 27 maio 2019.

MARQUES, V. M.; GOMES, L. P.; KERN, A. P. **Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 187-201, jan./mar. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v16n1/1678-8621-ac-16-01-0187.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2019.

MEDEIROS, M.H.F.; GRÜNBERG, P.R.M.; TAVARES, S.F. **Certificação ambiental de habitações: comparação entre leed for homes, processo aqua e selo casa azul**. Paraná, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v17n2/a13v17n2.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

MEIRA, Rui. **A Reciclagem**. 2002. Disponível em: <http://www.rudzerhost.com/papel/histo.htm>. Acesso em; 29 de mar. 2019.

**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – O Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis – PPCS** [S. l.], 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>. Acesso em: 28 mar. 2019.

NAÇÕES UNIDAS. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 5 mar. 2019.

NEVES, A.C.R.R., CASTRO, L.O.A. **Separação de materiais recicláveis: panorama no Brasil e incentivos à prática**, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/6631/pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

NEVES, F.L., ZUBEN, F.V. **Reciclagem do alumínio e polietileno presentes nas embalagens cartonadas tetra pak**, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://docplayer.com.br/17028036-Reciclagem-do-aluminio-e-polietileno-presentes-nas-embalagens-cartonadas-tetra-pak.html>. Acesso em: 21 mar. 2019.

NÓBILE, Alexandre Amato. **Diretrizes para a sustentabilidade ambiental em empreendimentos habitacionais**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo 2003. Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/sustentabilidade-em-empreendimentos-habitacionais.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Critério de Saúde Ambiental, nº203**. [S. l.], 1998. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 5 maio 2019.

PACTO Global. [S. l.], 5 fev. 2019. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/a-iniciativa>. Acesso em: 4 abr. 2019.

PARROTT, L. **An environmental perspective on UK construction materials**. In: Construction and the environment – CIB World Building Congress, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden.

PASSOS, P.R. **Destinação sustentável de casca de coco verde: obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 176 P. Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.), Rio de Janeiro, 2005.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M.A.S.; DE PAOLI, M-A. Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v19n2/v19n2a09.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

SCHELB, Cristina Galvão. **Avaliação de tipologias construtivas nos critérios de sustentabilidade: estudo de casos – Telhas**. 2016. Dissertação (Mestrado na área de tecnologia e sustentabilidade) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de Brasília- UnB, Brasília, 2016. Disponível em: [http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20940/1/2016\\_CristinaGalvaoSchelb.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20940/1/2016_CristinaGalvaoSchelb.pdf). Acesso em: 28 maio 2019.

SILVA, L.J.D., FRANCISCON, M.S.C. e ROCHA, R.C. Utilização de telhas de pet reciclado na construção civil. **Revista Ciências do Ambiente**, São Paulo, v. 6, n.1, p.44-49, jun 2010. Disponível em: <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/225/171>. Acesso em: 26 mar. 2019.

SILVA, R.V., SILVESTRE FILHO, G.D., SANTOS, N.C., BOSE FILHO, W.W., CARVALHO, J., SPINELLI, D. Comportamento mecânico do compósito sisal/poliuretano derivado de óleo de mamona, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2000/Docs/TC207-027.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2019.

SOUSA, D.C.G.; MATOS L.L.; ARAUJO M.K.S e LIMA E.V. A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente. *In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2016, João Pessoa. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil, 2016. p. 2-16. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn\\_sto\\_234\\_366\\_30516.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_234_366_30516.pdf). Acesso em: 26 mar. 2019.

SOUZA, L. C.; BRITO, E.R.; SILVA, A.N. Telhas ecológica de pet gerenciamento da qualidade, Manaus, 2018. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/telha\\_ecologica\\_de\\_pet\\_gerenciamento\\_da\\_qualidade\\_-\\_ok.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/telha_ecologica_de_pet_gerenciamento_da_qualidade_-_ok.pdf). Acesso em: 17 abril 2019.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal – STF. **Lei Federal nº 9.055, de 1 de junho de 1995**. Art. 2º O asbesto/amianto da variedade crisotila (asbesto branco), do grupo dos minerais das serpentinas, e as demais fibras, naturais e artificiais de qualquer origem, utilizadas para o mesmo fim, serão extraídas, industrializadas, utilizadas e comercializadas em consonância com as disposições desta Lei. Parágrafo único. Para os efeitos desta Lei, consideram-se fibras naturais e artificiais as comprovadamente nocivas à saúde humana. STF, 2017. Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/111906/lei-9055-95#art-2>. Acesso em: 25 mar. 2019.

TERRA FILHO, M.; BAGATIN, E. **Exposição Ambiental ao Asbesto**: avaliação do risco e efeitos na saúde. 2010. 176 f. Relatório Técnico. Projeto Asbesto Ambiental. São Paulo. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6046578-Projeto-asbesto-ambiental-exposicao-ambiental-ao-asbesto-avaliacao-do-risco-e-efeitos-na-saude-processo-cnpq-no-420001-2006-9-relatorio-final.html>. Acesso em: 26 mar. 2019.

TELHAS Leve. Manaus - AM, 2016. Disponível em: <https://telhasleve.com.br/>. Acesso em: 5 jun. 2019.

TETRA Pak - Reciclagem pós-consumo. São Paulo, 6 out. 2018. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/br/sustainability/recycling>. Acesso em: 19 maio 2019.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Critério de Saúde Ambiental**. [S. /], 1998. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 5 maio 2019.

SILVA, Fábio Henrique Mazzoni de Oliveira. Meio Ambiente e Construção. **INFORMATIVO nº 8**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://mac.arq.br/informativos/>. Acesso em: 8 maio 2019.

YOSHIMURA, K.S.O.; YOSHIMURA, H.N.; WIEBECK, H. **Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/308/248>. Acesso em: 21 jun. 2019.

## APÊNDICE A – Cálculo da resistência a flexão dos CP's

Os dados a seguir são resultados dos cálculos da resistência a flexão dos corpos de prova ensaiados de acordo com a norma ASTM D 790/98.

### Cálculo da resistência a flexão do CP 1

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (24\text{cm} \times 30\text{cm}) = 7,44 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,28Tf \quad F = 2800N$$

$$CR = \frac{2800 \times 143}{300} = 1334,66N$$

$$MRF = \frac{3 \times 1334,66 \times 143}{2 \times 300 \times (5,5)^2} \cong 31MPa$$

### Cálculo da resistência a flexão do CP 2

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (23\text{cm} \times 30\text{cm}) = 6,9 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,26Tf \quad F = 2600N$$

$$CR = \frac{2600 \times 143}{300} = 1239,33N$$

$$MRF = \frac{3 \times 1239,33 \times 143}{2 \times 300 \times (5,5)^2} \cong 29MPa$$

**Cálculo da resistência a flexão do CP 3**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (23,5\text{cm} \times 32\text{cm}) = 7,52 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,26Tf \quad F = 2600N$$

$$CR = \frac{2600 \times 143}{320} = 1161,87N$$

$$MRF = \frac{3 \times 1161,87 \times 143}{2 \times 320 \times (5,5)^2} \cong 26MPa$$

**Cálculo da resistência a flexão do CP 4**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (23,5\text{cm} \times 33\text{cm}) = 77,55 \times 10^{-3}$$

$$F = 0,21Tf \quad F = 2100N$$

$$CR = \frac{2100 \times 143}{330} = 910N$$

$$MRF = \frac{3 \times 910 \times 143}{2 \times 330 \times (5,5)^2} \cong 19MPa$$

**Cálculo da resistência a flexão do CP 5**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (23\text{cm} \times 29\text{cm}) = 6,67 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,17Tf \quad F = 1700N$$

$$CR = \frac{1700 \times 143}{290} = 838,27N$$

$$MRF = \frac{3 \times 838,27 \times 143}{2 \times 290 \times (5,5)^2} \cong 20MPa$$

### **Cálculo da resistência a flexão do CP 6**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (23cm \times 29cm) = 6,67 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,17Tf \quad F = 1700N$$

$$CR = \frac{1700 \times 143}{290} = 838,27N$$

$$MRF = \frac{3 \times 838,27 \times 143}{2 \times 290 \times (5,5)^2} \cong 20MPa$$

### **Cálculo da resistência a flexão do CP 7**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (20cm \times 28cm) = 5,6 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,24Tf \quad F = 2400N$$

$$CR = \frac{2400 \times 143}{280} = 1225,71N$$

$$MRF = \frac{3 \times 1225,71 \times 143}{2 \times 280 \times (5,5)^2} \cong 31MPa$$

**Cálculo da resistência a flexão do CP 8**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (20\text{cm} \times 29\text{cm}) = 5,8 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,16Tf \quad F = 1600N$$

$$CR = \frac{1600 \times 143}{290} = 788,96N$$

$$MRF = \frac{3 \times 788,96 \times 143}{2 \times 290 \times (5,5)^2} \cong 19MPa$$

**Cálculo da resistência a flexão do CP 9**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (20\text{cm} \times 29\text{cm}) = 5,8 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,20Tf \quad F = 2000N$$

$$CR = \frac{2000 \times 143}{290} = 986,20N$$

$$MRF = \frac{3 \times 986,20 \times 143}{2 \times 290 \times (5,5)^2} \cong 24MPa$$

**Cálculo da resistência a flexão do CP 10**

$$\text{Área} = (\text{comprimento} \times \text{largura})$$

$$\text{Área do CP} = (23\text{cm} \times 32\text{cm}) = 7,36 \times 10^{-2}$$

$$F = 0,25Tf \quad F = 2500N$$

$$CR = \frac{2500 \times 143}{320} = 1117,19N$$

$$MRF = \frac{3 \times 1117,19 \times 143}{2 \times 320 \times (5,5)^2} \cong 25MPa$$

## APÊNDICE B – Cálculo da taxa de absorção dos CP's

Os dados a seguir são resultados das resoluções das equações de acordo com a norma ABNT NBR 13.858-2 (2009) para determinação da taxa relativa de absorção da água dos os corpos de prova ensaiados.

### Cálculo da taxa de absorção do CP 1

$$\text{Absorção (\%)} = \frac{(397,49 - 260,70)}{260,70} \times 100$$

$$\text{Absorção (\%)} = 52,47$$

### Cálculo da taxa de absorção do CP 2

$$\text{Absorção (\%)} = \frac{(518,54 - 337,25)}{337,25} \times 100$$

$$\text{Absorção (\%)} = 53,75$$

### Cálculo da taxa de absorção do CP 3

$$\text{Absorção (\%)} = \frac{(335,20 - 256,84)}{256,84} \times 100$$

$$\text{Absorção (\%)} = 30,5$$

**Cálculo da taxa de absorção do CP 4**

$$Absorção (\%) = \frac{(348,16 - 250,88)}{250,88} \times 100$$

$$Absorção (\%) = 38,77$$

**Cálculo da taxa de absorção do CP 5**

$$Absorção (\%) = \frac{(350,55 - 254,78)}{254,78} \times 100$$

$$Absorção (\%) = 37,58$$

**Cálculo da taxa de absorção do CP 6**

$$Absorção (\%) = \frac{(314,97 - 201,59)}{201,59} \times 100$$

$$Absorção (\%) = 56,24$$

