



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO COMPARATIVO QUANTO À RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE TELHAS  
ONDULADAS DE FIBROCIMENTO E TELHAS ONDULADAS DE FIBRA  
VEGETAL.**

TARCISIO PEREIRA BARBOSA JÚNIOR

CAMPINA GRANDE - PB

Maio de 2021

TARCISIO PEREIRA BARBOSA JÚNIOR

**ESTUDO COMPARATIVO QUANTO À RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE TELHAS  
ONDULADAS DE FIBROCIMENTO E TELHAS ONDULADAS DE FIBRA  
VEGETAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil – Estrutura

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

Campina Grande - PB

2021

TARCISIO PEREIRA BARBOSA JÚNIOR

**ESTUDO COMPARATIVO QUANTO À RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE TELHAS  
ONDULADAS DE FIBROCIMENTO E TELHAS ONDULADAS DE FIBRA  
VEGETAL.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresentado foi julgado adequado à obtenção de título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

---

Professor Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho – Orientador

---

Professor Me. Rodrigo Mendes Patrício Chagas – Examinador Externo

---

Professora Dra. Marília Marcy Cabral de Araújo - Examinador Interno

## RESUMO

Novos materiais estão sendo inseridos no mercado nacional da construção civil sendo que muitos deles encontram grande barreira de entrada gerada pela falta de confiança dos consumidores. Entre estes encontram-se as telhas de fibra vegetal que por ser mais leve e flexível do que a telha de fibrocimento, que é o material que compete diretamente, inclusive pela semelhança geométrica, e tem grande aceitação no mercado termina por promover ideia de fragilidade a essa telha. O estudo comparativo tomou como base a Norma Brasileira de Desempenho, ABNT NBR 15575-5:2013. A metodologia do ensaio consiste na aplicação de impacto de uma esfera de aço em queda livre em alturas predefinidas. Para o estudo foram estabelecidos dois grupos de corpos de prova compostos cada um de seis telhas. O primeiro, denominado de “Telhas 1” foi formado por telhas de fibrocimento; um segundo denominado “Telhas 2” foi formado por telhas de fibra vegetal. Em cada telha foram realizados seis impactos em pontos previamente definidos. Após o choque da esfera de aço com o corpo de prova, observava-se a ocorrência de possíveis danos, relativos a dimensões, profundidade ou fissuras. Observou-se que nos dois conjuntos de corpos de prova os tipos de danos provocados foram semelhantes. Analisando-se os resultados obtidos concluiu-se que as telhas ecológicas se apresentaram mais resistentes a ação do impacto do que as telhas de fibrocimento. Além disso, à medida que a altura de queda da esfera, e, portanto, a energia de impacto medida em joules aumentou, as diferenças nas deformações foram mitigadas.

**Palavras Chave:** Telha, resistência ao impacto, deformação, desempenho.

## ABSTRACT

New materials are being inserted in civil construction market, many of which highlight the entry barrier due the lack of consumer confidence. As an example of it there are, they are known as vegetal fiber tiles, which, because they are lighter and more flexible than the fiber cement tile, which is the material that competes directly, including for the geometric similarity, and has great acceptance in the market, ends up promoting the idea of fragility of this tile. The comparative study was based on the Brazilian Performance Standard, ABNT NBR 15575-5: 2013. The test methodology consists of applying the impact of a steel ball in free fall at predefined heights. For the study, two groups of specimens were created, each consisting of six tiles. The first, called "Tiles 1", was formed by fiber cement tiles; a second one called "Tiles 2" was formed by vegetable fiber tiles. In each tile, six impacts were made at defined points. After the impact of the steel ball with the specimen, it was observed the occurrence of possible damages, related to dimensions, depth or cracks. It was observed that in the two sets of specimens the types of damage caused were similar. Analyzing the results obtained, it found that the vegetal fiber tiles dissipate more resistant to the impact action than the fiber cement tiles. In addition, as the sphere's height of fall, and therefore the impact energy measured in joules, increased, as differences in deformations were mitigated.

**Keywords:** Tiles, impact resistance, deformation, performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Tipos de cobertura .....	13
Figura 2.2: Telhas de fibrocimento .....	15
Figura 2.3: Representação esquemática do processo de Hatschek .....	16
Figura 2.4: Exemplos de fibras vegetais .....	19
Figura 2. 5: Modelos de telhas ecológicas de fibras vegetais .....	20
Figura 3. 1: Fluxograma da metodologia adotada .....	27
Figura 3.2: Telha ecológica de fibra vegetal com 3 mm de espessura .....	28
Figura 3.3: Telha de fibrocimento sem amianto .....	28
Figura 3. 4: Parafuso autobrocante com anilha embutida 16x68xØ4,2mm.....	29
Figura 3.5: Pregos para telha com arruela e vedação 18x27 .....	29
Figura 3.6: Caibro 6 pinus 5x5,7cm.....	30
Figura 3.7. Orientações para montagem do telhado com telhas onduladas de fibra vegetal. ...	33
Figura 3.9: Corpo de prova 2 .....	32
Figura 3.10: Orientações para montagem do telhado com telhas de fibrocimento.....	33
Figura 3.11: Corpo de prova 1.....	35
Figura 3.12: verticalização do gabarito.....	36
Figura 3.13: Escolha dos pontos de aplicação do impacto para telha de fibrocimento.....	37
Figura 3.14: Escolha dos pontos de aplicação do impacto para telha de papel reciclado.....	38
Figura 3.15: Região impactada para energia de 1,0 J corpo de prova 1.....	39
Figura 3.16: Região impactada para energia de 1,5 J corpo de prova I.....	41
Figura 3.17: Região impactada para energia de 2,5 J corpo de prova I.....	42
Figura 3.18: Região impactada para energia de 1,0 J corpo de prova 2.....	44
Figura 3.19: Região impactada para energia de 1,5 J corpo de prova 2.....	45
Figura 3.20: Região impactada para energia de 2,5 J corpo de prova 2.....	47
Figura 3.21:Gráfico da deformação.....	48

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 2.1: Características técnicas, telha ondulada fibrocimento .....	15
Tabela 2.2: Classificação das telhas onduladas de fibrocimento.....	17
Tabela 2.3: Carga mínima de ruptura a flexão por metro de largura da telha, de acordo com categoria e classe.....	17
Tabela 3.1: Dados obtidos no guia de instalação do fabricante da telha ecológica de fibra vegetal .....	32
Tabela 3.2: Dados obtidos no manual técnico de instalação do fabricante da telha de fibrocimento .....	35
Tabela 3.3: Massa de corpo duro, altura e energia de impacto.....	39
Tabela 3.4: Resultados do corpo de prova 1 para energia de 1,0 J.....	38
Tabela 3.5: Resultados do corpo de prova 1 para energia de 1,5 J.....	40
Tabela 3.6: Resultados do corpo de prova 1 para energia de 2,5 J.....	42
Tabela 3.7: Resultados do corpo de prova 2 para energia de 1,0 J.....	43
Tabela 3.8: Resultados do corpo de prova 2 para energia de 1,5 J.....	45
Tabela 3.9: Resultados do corpo de prova 2 para energia de 2,5 J.....	46

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

Art.	- Artigo
SC	- Sistema de Cobertura
NBR	- Norma Brasileira
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	- Organização Internacional de Normalização
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
J	- Joule
$E_p$	- Energia Potencial
$E_c$	- Energia Cinética
W	- Trabalho



# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	Objetivo geral	10
1.2	Objetivos específicos	10
1.3	Estrutura do trabalho	10
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
2.1	Cobertura	11
2.1.1	Tipos de cobertura	12
2.2	Telhas de fibrocimento	13
2.2.1	Fabricação	16
2.2.2	Classificações	16
2.2.3	Vantagens e desvantagens	17
2.3	Telha de fibra vegetal	18
2.3.1	Classificação	21
2.3.2	Fabricação	21
2.3.3	Vantagens e desvantagens	22
2.4	Mecânica do impacto	22
2.4.1	Fundamentos da dinâmica	23
2.4.2	Lei da conservação de energia	23
2.4.4	Danos gerados por ação do impacto	25
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1	Materiais	28
3.2	Métodos	31
3.2.1	Montagem dos corpos de provas com telha ecológica de fibra vegetal	31
3.2.2	Montagem dos corpos de prova com telhas fibrocimento sem amianto	34
3.2.3	Ensaio de resistência ao impacto	37
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE</b>	<b>41</b>
4.1	Corpo de prova 1	41
4.2	Corpo de prova 2	46
4.3	Deformação em função da energia de impacto para os corpos de prova 1 e 2	51
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS</b>	<b>53</b>



# 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil brasileira tem passado por um processo de evoluções ao longo dos anos, centrado na busca de técnicas e materiais que proporcionem: diminuição do tempo de execução, redução de danos causado ao meio ambiente, redução de gastos e aumento do desempenho. No mercado de telhas não foi diferente, e cada vez mais tipos de telhas vêm ganhando espaço no mercado como as ecológicas que são produzidas a partir de fibras naturais ou materiais recicláveis apresentando além do viés socioambiental, um bom desempenho e preço competitivo em relação as telhas cerâmicas e de fibrocimento que lideram atualmente as vendas de telhas no Brasil.

O setor da construção civil pode ser dividido como habitacional, comercial e industrial. Os padrões construtivos podem ser finos médios e populares. A etapa de cobertura no habitacional médio, segundo a o TCPO (2013) tem custo variando de 3,0 a 6,5 % do custo final. Já para galpão padrão médio, industrial seu custo varia de 20,0 a 30,0 % sendo esta a etapa que apresenta maior valor percentual de todas as etapas desse tipo de edificação. Este percentual é equivalente ao de uma superestrutura de um prédio com elevador padrão fino que varia de 26 a 32 % do custo final.

Segundo Calil Júnior (2010, p.22) o primeiro passo para se construir uma cobertura eficiente é a escolha de uma telha, que atenda todas as necessidades. Sendo assim não é possível designar um tipo de telha que seja mais eficiente em detrimento das demais, uma vez que essa necessidade varia de acordo com a edificação. Portanto o amplo conhecimento das propriedades e desempenho dos tipos de telha se faz necessário para que a sua escolha seja compatível com o projeto, e cumpram os requisitos solicitados por as normas vigentes.

As telhas cumprem a função de garantir estanqueidade na cobertura de uma edificação sendo assim é de suma importância que apresentem uma resistência ao impacto o suficiente para que cumpram sua função quando solicitadas sob efeitos de intempéries como a chuva de granizo ou impactos de detritos acarretado em função de ventanias ou até mesmo sob ação de impactos proveniente de arremesso de projéteis. Portanto, a escolha desse tema justifica-se pela busca de um estudo mais aprofundado sobre essa temática voltado para as telhas de fibrocimento e telhas ecológicas.

## **1.1 Objetivo geral**

Comparar a resistência ao impacto obtido segundo a norma ABNT NBR 15575-5/2013, em sistemas de cobertura com telhas: onduladas de fibra vegetal com espessura de 3 mm, e telhas de fibrocimento com espessura de 4 mm.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar o ensaio previsto na norma ABNT NBR 15575-5/2013 para verificação da resistência ao impacto em sistemas de cobertura com telhas: onduladas de fibra vegetal e telhas de fibrocimento;

- Avaliar, analisar e comparar os resultados obtidos nos ensaios segundo os valores estabelecidos pela norma ABNT NBR 15575-5: 2013.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

O trabalho estrutura-se em cinco capítulos, apresentando-se no primeiro a introdução, no qual são mostrados a importância do estudo e sua problemática, e objetivos gerais e específicos. No segundo capítulo consta a revisão bibliográfica sobre os temas: sistema de cobertura, processo de fabricação e descrição das características das telhas onduladas de fibra vegetal e de fibrocimento. Assim como suas respectivas vantagens e desvantagens e o estudo da mecânica do impacto e as consequências de sua ação em telhas. No terceiro a metodologia e os materiais utilizados, no quarto capítulo serão expostos os resultados e as análises, e por fim, a conclusão do trabalho procurando a verificação dos objetivos traçados.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo está estruturado em quatro partes: primeira parte apresenta o conceito de cobertura como também os seus tipos; já a segunda, a terceira parte as características, o processo de fabricação, classificações e as principais vantagens e desvantagens das telhas de fibrocimento sem amianto e das telhas ecológicas de fibra vegetal. Por fim a quarta parte trata da mecânica do impacto como também os tipos danos que podem ser causados nas telhas por ação do impacto.

### **2.1 Cobertura**

Alguns autores utilizam o termo “telhado” indistintamente para designar tanto a cobertura quanto o próprio telhado. Outros autores admitem que o termo telhado é mais utilizado em construções residenciais, sendo o termo cobertura mais comum em construções industriais e poliesportivas (CALIL JUNIOR 2010, p.1), já para Moliterno, (2010, p.1) a origem do nome telhado provém do uso das telhas, mas nem todo o sistema de proteção superior de um edifício, obrigatoriamente, constitui-se num telhado como, por exemplo, lajes com espelho d'água, terraços e jardins suspensos. O conceito de sistema de cobertura sugerido pela norma ABNT NBR 15575-5/2013 é mais abrangente, definindo um sistema de cobertura como sendo o conjunto de elementos / componentes, dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger os demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional.

O sistema de cobertura desempenha papel fundamental nas edificações habitacionais pois proporciona: prevenção a proliferação de microrganismos patogênicos em função da proteção à entrada de água que eleva a umidade, proteção dos materiais das construções, combate a infiltração de umidade advindas das intempéries para o interior da edificação e interferência na carga térmica transmitidas aos ambientes. Em edificações habitacionais, Cardoso (2000, p.2) indica a existência de dois grandes grupos principais de coberturas: os telhados, dos quais trata este trabalho, e as lajes de concreto impermeabilizadas.

Segundo Calil Júnior (2010, p.21) as coberturas com telhas podem ser subdivididas em:

- Conjunto de telhas em sua parte superior;
- Trama de madeira, ou outro material, que sustenta o conjunto de telhas;
- Estruturas verticais de sustentação da trama que normalmente são tesouras de madeira;
- Sistema de contraventamentos que confere a estrutura capacidade de absorver ações horizontais como a ocasionada pelos ventos;
- Elementos de captação das águas pluviais.

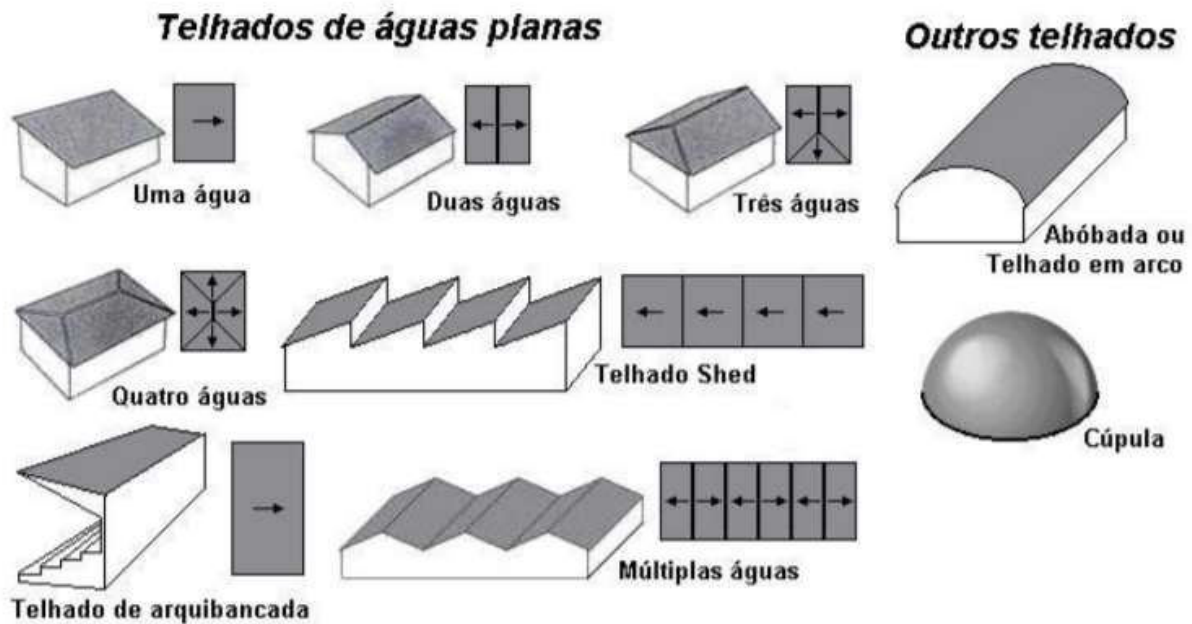
Segundo Dominguez et al. (1992), no projeto de uma cobertura devem ser considerados simultaneamente três fatores:

- Controle solar (quantidade de sombra produzida e adequação da forma de superfície ocupada);
- Parcela de radiação que atravessa a cobertura em relação ao total que incide sobre ela (o que depende do tipo de cobertura e dos materiais utilizados);
- A quantidade de calor absorvido e dissipado pela cobertura (o que depende do tipo de cobertura, da forma e da cor da superfície).

### **2.1.1 Tipos de cobertura**

Segundo LOGSDON (2002, p.1) as coberturas podem ser construídas nos mais diferentes formatos, dando origem a diversos tipos de coberturas. Alguns tipos têm sua denominação originada no número de planos para escoamento das águas (figura 2.1), denominados “águas do telhado”.

Figura 2.1: Tipos de cobertura.



Fonte: LOGSDON ,2002.

## 2.2 Telhas de fibrocimento

As telhas onduladas de fibrocimento possuem importante papel na construção de habitações sociais no Brasil, de acordo com Calil Júnior (2010, p.24) as grandes vantagens da utilização desse material em coberturas é a execução de telhados com rapidez, custo reduzido e com boa resistência mecânica.

O fibrocimento é um material compósito que utiliza como ligante o cimento Portland. Até o ano de 2007, a principal fibra usada na fabricação de telhas era o amianto, que tem origem mineral (COELHO; GOMES; DORNELLES, 2017, p.148). Segundo Castro et al. (1999, p.15) o material amianto é um conjunto de minerais, sendo o seu principal constituinte o silicato de magnésio, encontrado na natureza em estado bruto e não contém elementos orgânicos. O valor comercial do amianto está relacionado às suas propriedades físicas: é incombustível, isolante de calor em temperaturas moderadas, tem alta resistência mecânica e baixa condutibilidade elétrica, alta resistência a substâncias químicas agressivas, capacidade de filtrar os microrganismos e outras substâncias nocivas, alta durabilidade e baixo custo para sua extração, pois são encontrados em rochas a céu aberto (CASTRO; GOMES, 1998 ).

De acordo com Silva e Etulain (2010, p.9), cerca de 40 países possuem reservas naturais desse mineral, mas grande parte destes abandonaram a extração ou tem reduzida importância. Atualmente a produção mundial está dividida em apenas seis países: Rússia (46,2%), China (20,2%), Brasil (10,9%), Cazaquistão (10,3%), Canadá (7,8%) e Zimbábue (3,6%), porém, proibiu-se no Brasil (inicialmente com a Lei n. 9.055/1995 (BRASIL, 1995)) o emprego do amianto na fabricação de quaisquer componentes construtivos. O mercado de fibrocimento é o maior usuário de amianto, e por este motivo, nesta classe de materiais de construção, novas alternativas de fibras para reforço estão sendo procuradas para a substituição do amianto (COUTTS, 2005), devido a esse material poder gerar danos a saúde como asbestose, câncer de pulmão, mesotelioma, derrames pleurais, placas pleurais e severos distúrbios respiratórios .

O processo de fabricação das telhas é padronizado por leis e normas. De acordo com Marques (2014, p.43), podem-se destacar: a ABNT NBR 7.581/1993 a qual foi atualizada e dividida em três partes: ABNT NBR 7.581/2012 – Telha Ondulada de Fibrocimento (Parte 1 – Classificação e Requisitos, Parte 2 – Ensaios, Parte 3 – Padronização) e ainda a ABNT NBR 15.210/2005 – Telha Ondulada de Fibrocimento sem amianto e seus acessórios (Parte 1 – Classificação e Requisitos, Parte 2 – Ensaios, Parte 3 – Amostragem e Inspeção) (ABNT, 1993, 2005 e 2012). Nota-se que esta última, já normatiza os produtos fabricados sem a utilização de amianto.

O desempenho de uma telha está relacionado as seguintes características: composição, condutibilidade térmica, dilatação térmica, dilatação por absorção de água, peso específico, resistência a agentes químicos, resistência à flexão (carga de ruptura mínima) e isolamento sonoro. A Tabela 2.1 apresenta as características técnicas de uma telha ondulada de fibrocimento sem amianto fabricada pela Eternit.



Tabela 2.1: Características técnicas, telha ondulada fibrocimento

Características técnicas	
Composição básica	Cimento Reforçado com Fios Sintéticos
Condutibilidade térmica	20°C k = 0,31 W/m °C
Dilatação térmica	0,01 mm/m °C
Dilatação por absorção de água	2 mm/m (reversível)
Peso específico	Y = 1,6 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a agentes químicos	Imune a gases secos e vapores úmidos (com pH superior a 6)
Resistência à flexão (carga de ruptura mínima)	e = 6mm, 2,75kn no centro do vão livre e = 8mm, 3,70kn no centro do vão livre
Isolamento sonoro	Bom, inerte a vibrações
Tolerâncias dimensionais	Espessura: 1mm Comprimento: 10mm Largura: 10mm

Fonte: Eternit, 2016.

Existem diversos modelos de telhas de fibrocimento que possuem diversas: formas, tamanhos e espessuras. A figura 2.2 apresenta alguns desses modelos.

Figura 2.2: Telhas de fibrocimento

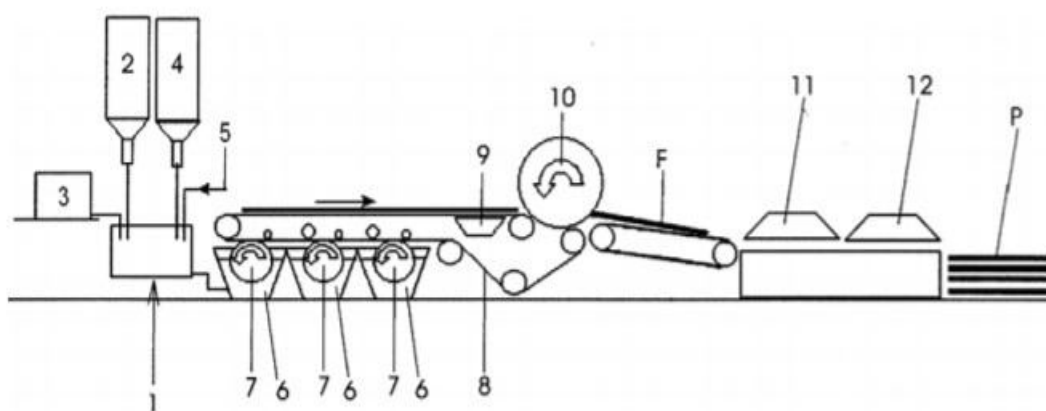


Fonte: Brasilit, 2014

## 2.2.1 Fabricação

O processo básico utilizado na fabricação de telhas de fibrocimento foi desenvolvido por Ludwig Hatschek em meados do século XIX e teve como base o processo de fabricação de papel, esse processo foi aperfeiçoado ao longo do tempo, mas o seu princípio básico que é a filtragem de uma suspensão bem diluída de cimento em um cilindro em rotação, não foi alterado. A figura 2.3 apresenta o esquema de fabricação dessa telha.

Figura 2.3: Representação esquemática do processo de Hatschek.



Fonte: Dias, Savastano Junior e Jhon (2010).

## 2.2.2 Classificações

Existem diversos tipos de classificação para telhas de fibrocimento que variam de acordo com seus critérios e normas utilizadas, segundo a ABNT NBR 15210-1/2013 pode-se classificar tendo como requisito a altura nominal da onda (Tabela 2.2), como também segundo a carga mínima de ruptura à flexão como indicado na tabela 2.3.

Tabela 2.2: Classificação das telhas onduladas de fibrocimento

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 15210-1/2013.

Tabela 2.3: Carga mínima de ruptura à flexão por metro de largura da telha, de acordo com categoria e classe.

Categoria	Carga de mínima ruptura à flexão N/M									
	Classes									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$15 \leq h \leq 25$	600	800	1000	1400	-	-	-	-	-	-
$25 < h \leq 40$	-	800	1000	1400	2000	2500	3300	-	-	-
$40 < h \leq 60$	-	-	-	-	-	2500	3300	4250	-	-
$60 < h \leq 150$	-	-	-	-	-	-	-	4250	5600	7400
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 15210-1/2013.

### 2.2.3 Vantagens e desvantagens

O primeiro passo para se construir uma cobertura eficiente, que atenda a toda sua necessidade, é a escolha da telha (CALIL JÚNIOR 2010, p.22). Desta forma, faz-se necessário um bom conhecimento das vantagens e desvantagens de se utilizar um tipo específico de telha em um sistema de cobertura, segundo Calil Júnior (2010, p.24) e Longsdon (2002, p.4), as principais vantagens e desvantagens de se utilizar telhas de fibrocimento em um sistema de cobertura são:

## **Vantagens**

Demanda um sistema estrutural econômico, exige inclinações menores em sua execução, rapidez de instalação, alta resistência a atmosferas agressivas; pode ser apoiada diretamente sobre as paredes dispensando uso de apoios intermediários, alta durabilidade e baixo preço.

## **Desvantagens**

Baixo desempenho térmico, fragilidade, exige uma instalação rigorosa, com o envelhecimento passa a apresentar problemas de manutenção.

Apesar das telhas de fibrocimento apresentarem baixo desempenho térmico, pode-se adotar medidas para compensar seu efeito, como: fazer um bom projeto de ventilação (MONTENEGRO 1984, p.73), projetar beirais maiores, com pés-direitos maiores, e pintar as telhas com tinta acrílica branca nas duas faces (CALIL JÚNIOR 2010, p.24).

## **2.3 Telha de fibra vegetal**

A sociedade tem maior afinidade pelos produtos denominados ecológicos devido ao apelo para preservação do meio ambiente que é estimulado através de propagandas, o que tem fomentado uma busca por produtos que causassem menores danos ao meio ambiente, com o mercado de telhas não foi diferente, atualmente no mercado existem diversos tipos telhas que atendem a esse critério como as de: fibra vegetal, Tetra Pak, PET e GeoPET. Entre os diversos tipos de fibras, os vegetais têm sido muito estudados, principalmente para reforço de componentes para construções de interesse social, pois possui baixo custo quando empregadas na própria região de origem, ou quando usadas com rejeitos de outras aplicações (SAVASTANO JUNIOR, 1992, p.209).

As telhas de fibras vegetal podem ser feitas de fibras não madeiradas como sisal, coco e bananeiras, como também com fibras madeiradas como eucalipto e pinho as que serão utilizadas desse tipo no estudo comparativo são as telhas produzidas com fibras vegetais proveniente do papel reciclado; a figura 2.4 ilustra alguns tipos de fibras vegetais. Basicamente são utilizadas duas matérias-primas para a composição da telha ecológica com resíduo de papel:

o papel reciclável e o betume que é um subproduto do refino do petróleo, que tem a função de fornecer à telha: impermeabilidade permanente, resistência e isolamento acústico.

O papel é um material de boa reciclabilidade sendo classificado como resíduo de classe B segundo a Resolução nº. 307 do CONAMA, ou seja, que permite a reciclagem secundária. Segundo Lessa (2009, p.71), pode ser utilizado qualquer tipo de papel reciclável como matéria-prima para a fabricação da telha, sendo mais usados o papel tipo Kraft, proveniente de embalagens e o papel jornal. O papel Kraft é mais resistente por possuir fibras de celulose mais longas.

Figura 2.4: Exemplos de fibras vegetais



(a) Fibra de coco verde



(b) fibra de bananeira



(c) fibra de sisal



(d) fibra eucalipto



(e) fibra de pinho



(f) fibra de papel reciclado

Fonte: [www.comercialpennafirme](http://www.comercialpennafirme), [www.gasometrocomvoce.com.br](http://www.gasometrocomvoce.com.br), [www.usp.br](http://www.usp.br).

Com objetivo de atender as necessidades do mercado consumidor os principais fabricantes de telhas ecológicas de fibras vegetais produzem diversos modelos, que por sua vez possuem diversas formas, tamanhos, espessuras e cores. A figura 2.5 apresenta alguns desses modelos.

Figura 2. 5: Modelos de telhas ecológicas de fibras vegetais

Telha Ecológica Onduline Clássica FIT



Telha Ecológica Onduline Clássica



Telha Ecológica Onduline Stilo



Telha Ecológica Premium Onduvilla



Telha Ecológica Onduline Stilo 3D



Fonte: Catálogo de telhas Onduline, 2016.

### **2.3.1 Classificação**

Atualmente não existe Norma Brasileira para a classificação de telhas de fibra vegetal, ficando a encargo do fabricante estabelecer critérios para a classificação desse tipo de telha, que podem levar em consideração características como: espessura, resistência à flexão, massa específica e revestimento da telha.

### **2.3.2 Fabricação**

Segundo a Onduline o processo de fabricação de telhas ecológicas de fibras vegetais com papel reciclado, tem início com o trabalho de coleta de papel reciclado, coloração e impermeabilização até chegar à embalagem final, podendo separar esse processo em 8 etapas que são:

- 1- Comprar o papel e/ou papelão de cooperativas;
- 2- Dissolver o material em água quente para extrair a fibra celulose;
- 3- Retirar as impurezas da massa, com uso de centrífuga a fim de deixá-la lisa, e de descartar possíveis materiais indesejados;
- 4- Esticar e expor a massa em uma esteira aquecida para eliminar qualquer vestígio de água na telha;
- 5- Adicionar uma camada de resina e pigmentação orgânica no material;
- 6- Moldar o material de acordo com a forma requerida;
- 7- Cortar o material moldado;
- 8- Mergulhar as telhas em betume.

Vale salientar que assim que o corte é feito, as telhas são mergulhadas em betume, que oferece impermeabilização, resistência e proteção contra raios ultravioletas, para manter a cor e evitar a descamação do produto. Através desse processo, as telhas passam a absorver apenas 0,0003% de água, mesmo sendo reciclada e com o peso muito leve: 3,9 kg/m<sup>2</sup>. Após estarem secos, os produtos estão prontos para o consumidor.

### **2.3.3 Vantagens e desvantagens**

Além do viés ambiental que as telhas ecológicas feitas com fibras vegetais provenientes da reciclagem de papel oferecem, Calil Júnior (2010, p.25) e Lessa (2009, p.78) indicam ainda as seguintes vantagens e desvantagens:

#### **Vantagens**

Bom desempenho térmico, boa resistência mecânica, alta flexibilidade, resistência a corrosão, variedade de cores, durabilidade, demanda um sistema estrutural econômico, alta impermeabilidade e não propaga chamas.

#### **Desvantagens**

Requer precisão de instalação, pode ser alvo de proliferação de fungos e mofo, demanda manutenção mais frequentes.

## **2.4 Mecânica do impacto**

Segundo Halliday (2012, p.217), na ocorrência de um impacto a força exercida sobre o corpo é de curta duração, tem um módulo elevado e provoca uma mudança brusca do momento do corpo. Embora existam diversos modelos analíticos para o estudo da mecânica do impacto, neste capítulo, será apresentado o modelo da dinâmica de corpos rígidos devido a sua simplicidade. Do ponto de vista cinemático, um corpo rígido pode ser definido como um corpo material que guarda a propriedade de invariância de distância relativa entre quaisquer pontos que o constituam, embora aparentemente bastante restritiva, a hipótese de corpo rígido encontra aplicações práticas de grande relevância.



### 2.4.1 Fundamentos da dinâmica

Embora a mecânica newtoniana não possa ser aplicada em todas as situações, como exemplo se as velocidades dos corpos envolvidos são muito elevadas, comparáveis à velocidade da luz, ela não possui limitações relevantes para o objetivo deste trabalho. São três leis que fundamentam a dinâmica proposta por Isaac Newton em sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ('Princípios Matemáticos da Filosofia Natural') conhecidas como as leis de Newton do movimento. A primeira lei de Newton afirma que, quando a força resultante que atua sobre um corpo é nula o movimento do corpo não se altera, vale salientar que essa lei não se aplica a todos os referenciais, mas em todas as situações pode-se encontrar referenciais nos quais essa lei é verdadeira sendo esses, chamados de referenciais inerciais. Neste trabalho será adotado como referencial um ponto fixo na superfície da terra. A segunda lei de Newton relaciona a força com a aceleração quando a força resultante que atua sobre o corpo não é nula. A terceira lei de Newton também chamada de ação e reação, relaciona as forças de interação entre dois corpos.

### 2.4.2 Lei da conservação de energia

Segundo a lei da conservação da energia, a energia pode mudar de forma e ser transferida de um objeto para outro, mas a quantidade total de energia permanece constante (a energia é conservada), ou seja, se durante o movimento de uma partícula, se somente forças conservativas realizam trabalho, a soma das energias cinética ( $E_p$ ) e potencial ( $E_k$ ) permanece constante, conforme a equação (1).

$$E_p + E_c = \text{CONSTANTE} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

$E_c$ - Energia cinética

$E_p$ - Energia potencial

A energia cinética que é a energia associada ao estado de movimento de um objeto, ou seja, está relacionada com a massa (m) e a velocidade (v) pode ser calculada através da equação (2).

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

m=massa

v=velocidade

A energia potencial que é a energia que pode ser armazenada em um sistema físico e tem a capacidade de ser transformada em energia cinética, sendo diretamente proporcional a: massa (m), gravidade (g) e altura (h), podendo ser calculada através da equação (3).

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

m= massa

g=gravidade

h=altura

Quando a velocidade de um objeto aumenta com a aplicação de uma força, a energia cinética do objeto aumenta, sendo a recíproca verdadeira pode-se explicar essas variações de energia cinética como a aplicação da força transferiu energia para o objeto ou do objeto. Nas transferências de energia por meio de forças, pode-se dizer que um trabalho (W) é realizado pela força sobre o objeto, podendo ser calculado através da equação (4).

$$W = E_{pf} - E_{pi} \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

$E_{pi}$  = Energia Potencial inicial

$E_{pf}$  = Energia Potencial final

### **2.4.3 Coeficiente de restituição**

Se a energia cinética total não é alterada pela colisão, a energia cinética do sistema é conservada (é a mesma antes e depois da colisão). Esse tipo de colisão é chamado de colisão elástica. Caso parte da energia cinética seja convertida em outras formas de energia, como energia térmica e energia sonora, ou seja, a energia cinética não é conservada, este tipo de colisão é chamado de colisão inelástica.

O coeficiente de restituição é a relação entre o impulso de restituição e o impulso de deformação logo pode-se denotá-lo como a razão entre a velocidade relativa de separação das partículas logo após o impacto e a velocidade relativa de aproximação. Segundo Hibbler (2010, p.196), com medidas experimentais dessas velocidades relativas, descobriu-se que o coeficiente de restituição varia de forma apreciável com a velocidade de impacto, assim como com a dimensão e a forma dos corpos em colisão.

Quando o coeficiente de restituição for igual a zero o impacto é chamado de inelástico ou plástico, nesse caso as partículas acoplam-se ou aderem-se, e passam a mover-se com uma velocidade comum. No caso de o coeficiente de restituição ser igual 1 a colisão é perfeitamente elástica, ou seja, o impulso de deformação é igual e oposto ao impulso de restituição.

### **2.4.4 Danos gerados por ação do impacto**

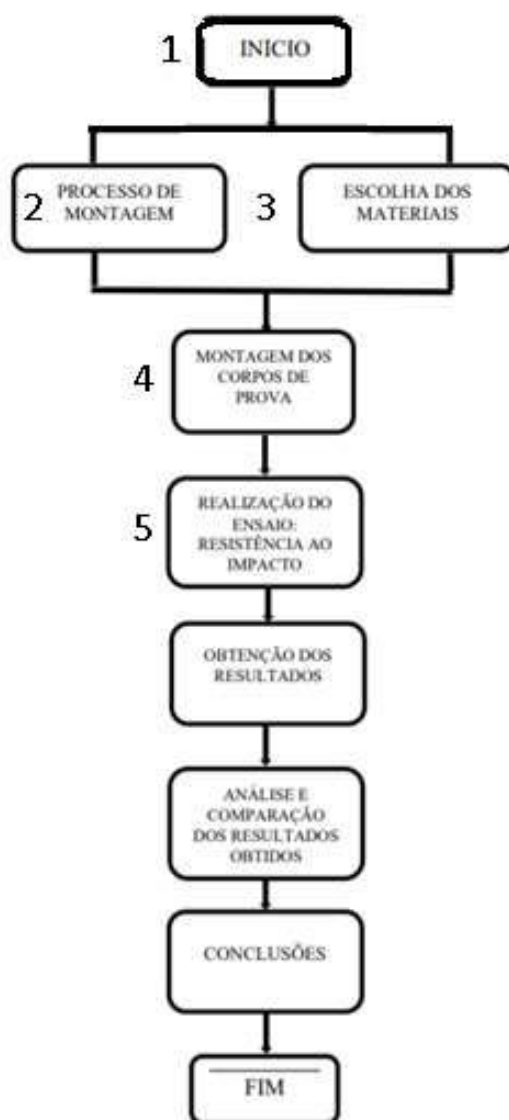
Segundo Rodrigues (2018, p.31) a resistência ao impacto representa a tenacidade ou a resistência de um material rígido à deformação a uma velocidade muito alta, sendo chamado os materiais que apresentam pouca resistência ao impacto de materiais frágeis. A resistência ao impacto de um material está relacionada a: espessura, rigidez do suporte subjacente e o desgaste do material (GESSLER E PETTY, 2013). Além disso alguns fatores externos podem influenciar no seu desempenho como a temperatura que segundo Rodrigues (2018, p.34) quando o material possui uma temperatura de transição vítrea situada acima das temperaturas ambiente acaba se tornando frágil e quebradiço.

Os danos gerados por ação do impacto em telhas podem comprometer a estanqueidade da cobertura através da formação de aberturas nas telhas, e assim proporcionando o aparecimento de patologias na edificação.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa. A Figura 3.1 apresenta um fluxograma com as principais etapas desenvolvidas neste trabalho, que partiu da coleta de dados necessários para a montagem de 2 corpos de provas sendo o primeiro com 6 telhas onduladas de fibra vegetal com 3 mm de espessura e o segundo com 6 telhas onduladas de fibrocimento sem amianto com 4mm de espessura. Os ensaios realizados foram de resistência ao impacto previsto na norma ABNT NBR 15575-5:2013. A partir dos resultados obtidos será feita a análise comparativa do desempenho das telhas.

Figura 3. 1: Fluxograma da metodologia adotada.



Fonte: autoria própria.

### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados para realização dos ensaios foram:

- Telhas ecológicas de fibra vegetal 3 mm de espessura. As características das telhas ensaiadas estão apresentadas na figura 3.2. Sendo essas telhas utilizadas no corpo de prova 2.

Figura 3.2: Telha ecológica de fibra vegetal com 3 mm de espessura.



- Largura: 950 mm
- Comprimento: 2000 mm
- área total: 1,90m<sup>2</sup>
- área de cobertura útil: 1,58m<sup>2</sup>
- Espessura: 3 mm
- Substrato: fibra vegetal com revestimento asfáltico

Fonte: Guia de instalação - telha ecológica stilo onduline 2017.

- Telha de fibrocimento sem amianto 4mm de espessura. As características das telhas ensaiadas estão apresentadas na figura 3.3. Sendo essas telhas utilizadas no corpo de prova 1.

Figura 3.3: Telha de fibrocimento sem amianto.



- Largura: 500 mm
- Comprimento: 2130 mm
- Área total: 1,065 m<sup>2</sup>
- Área de cobertura útil: 0,8325 m<sup>2</sup>
- Espessura: 4 mm
- Material: Cimento reforçado com fios sintéticos

Fonte: Catálogo de telhas de fibrocimento - Brasilit, 2016.

- Parafusos autobrocante com anilha embutida, 16x68xØ4,2mm (figura 3.4), para a ancoragem do corpo de prova 1;

Figura 3. 4: Parafuso autobrocante com anilha embutida 16x68xØ4,2mm.



Fonte: Onduline – lista de produtos. 2016.

- Pregos com arruela e vedação 18x27 (figura 3.5)., para a ancoragem do corpo de prova 2;

Figura 3.5: Prego para telha com arruela e vedação 18x27.



Fonte: <https://www.cec.com.br/ferragens/pregos-parafusos-e-buchas/prego/prego-para-telha-com-arruela-e-vedacao-18x27-com-20-pecas-galvanizado.Produto=1055049>.

- Caibros com bitola de 5 cm X 6 cm (figura 3.6). Usado na montagem de todos os corpos de prova.

Figura 3.6: Caibro 6 pinus 5x5,7cm.



Fonte: [https://www.leroymerlin.com.br/caibro-6-pinus-5x5,7cmx3m-madvei\\_89465600](https://www.leroymerlin.com.br/caibro-6-pinus-5x5,7cmx3m-madvei_89465600)

- Esfera de aço maciça com massa de  $(65,6 \pm 2)$  g e 25,4 mm de diâmetro (Figura 3.7);

Figura 3.7: Esfera de aço maciça.



Fonte: autoria própria.



Os seguintes materiais foram utilizados de forma complementar:

- tubos de PVC de 32mm de diâmetro com comprimentos de 1,50m 2,30m e 3,80m;
- Nível de mão;
- Lupa;
- Fissurômetro acrílico;
- Trena.

## **3.2 Métodos**

A seguir serão apresentados os métodos utilizados para execução dos ensaios.

### **3.2.1 Montagem dos corpos de provas com telha ecológica de fibra vegetal.**

O guia de instalação da telha ecológica de fibra vegetal descreve as recomendações da: montagem, fixação, espaçamento e inclinação das telhas, especificando:

- Instruções respectivas à instalação das telhas, com a indicação dos recobrimentos mínimos longitudinal e lateral entre as telhas;
- Distâncias máximas entre apoios das telhas;
- Tipo de fixadores e procedimentos de fixação da telha à estrutura, incluindo a distribuição dos fixadores;
- Detalhes construtivos do beiral;
- Indicação das possíveis declividades do telhado.

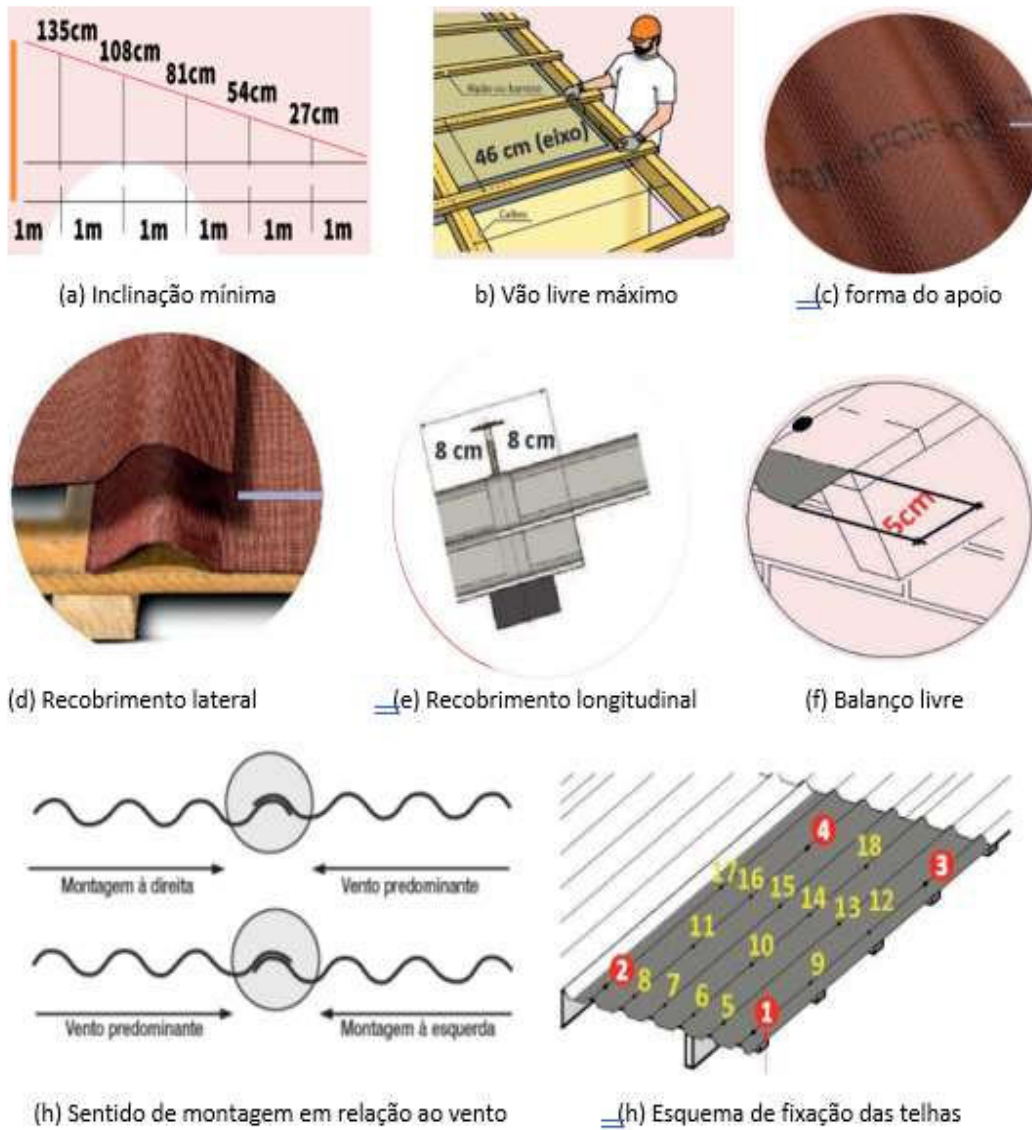
Os dados obtidos no guia de instalação serão utilizados para montagem do corpo de prova 1, as características e orientações de montagem obtidos estão indicados na tabela 3.1 e na imagem 3.8, e a figura 3.9 apresenta o corpo de prova 2.

Tabela 3.1: Dados obtidos no guia de instalação do fabricante da telha ecológica de fibra

Inclinação mínima	27 %
Vão livre máximo	46 cm
Recobrimento lateral mínimo	1 onda
Recobrimento longitudinal	16 cm
Tipo e forma do apoio	Madeira ou metal
Caminhamento sobre telhado	Sob tabuas
Balanço livre	5 cm
Sentido de montagem	Contrário aos ventos dominantes na região
Fixação das telhas	18 fixadores por telha

Fonte: autoria própria.

Figura 3.7. Orientações para montagem do telhado com telhas onduladas de fibra vegetal.



Fonte: autoria própria.

Figura 3.9. Corpo de prova 2.



Fonte: autoria própria.

### **3.2.2 Montagem dos corpos de prova com telhas fibrocimento sem amianto**

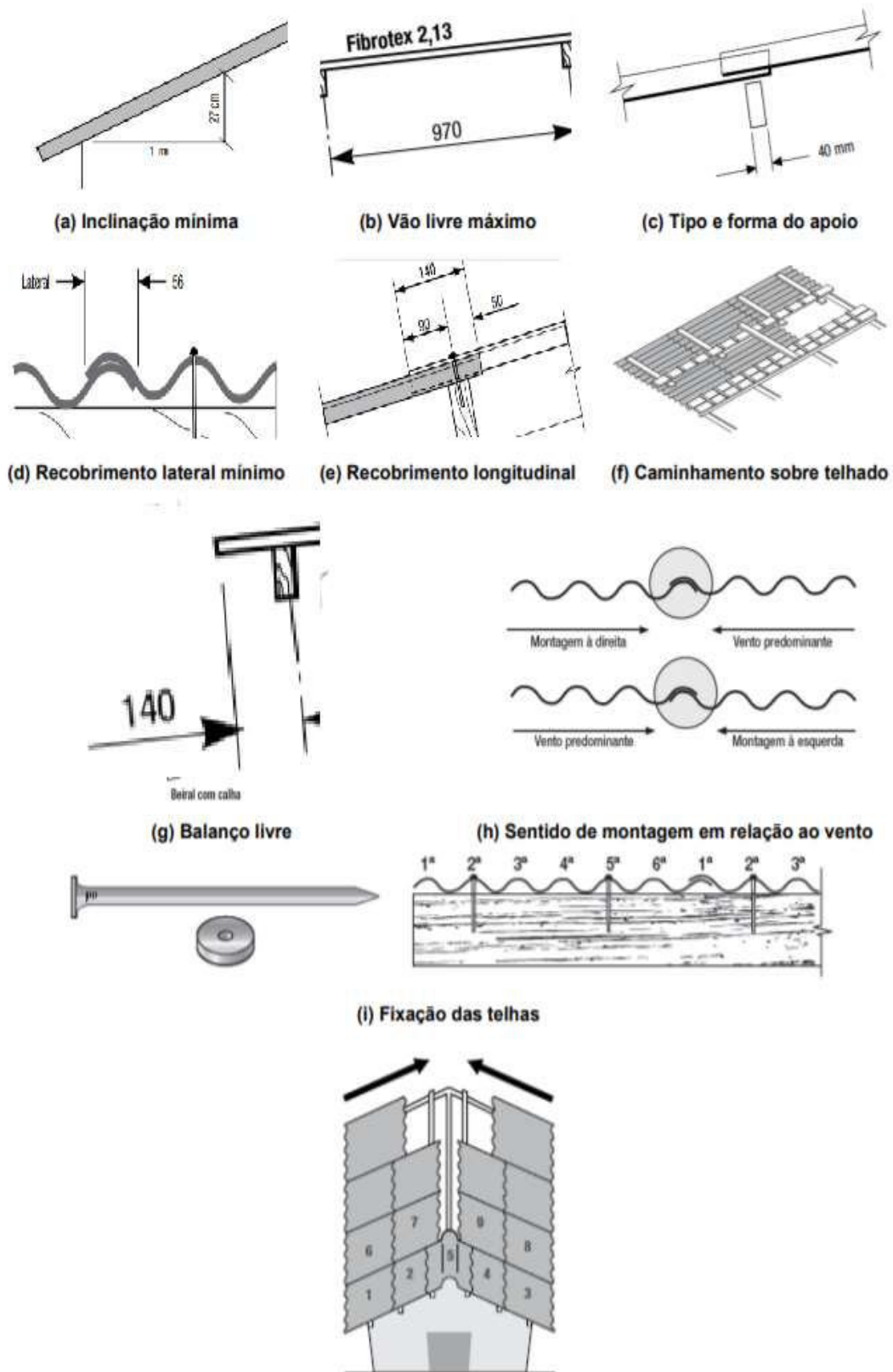
O guia de instalação do fabricante da telha de fibrocimento, contém as informações e orientações necessárias para adequada instalação, de maneira análoga ao corpo de prova 1, as informações necessárias para a montagem foram referenciadas na tabela 3.2 e na figura 3.10, e o corpo de prova referido está apresentado na figura 3.11:

Tabela 3.2: Dados obtidos no manual técnico de instalação do fabricante da telha de fibrocimento

Inclinação mínima	27 %
Vão livre máximo	97 cm
Recobrimento lateral mínimo	56 mm
Recobrimento longitudinal	14 cm
Tipo e forma do apoio	Madeira, metal ou concreto
Caminhamento sobre telhado	Sobre tábuas
Balanço livre	14 cm
Sentido de montagem	Contrário aos ventos dominantes na região
Fixação das telhas	2 pregos por linha de fixação

Fonte: autoria própria.

Figura 3.10: Orientações para montagem do telhado com telhas de fibrocimento sem amianto.



Fonte: autoria própria.

Figura 3.11. Corpo de prova 1 (Telha 1).



Fonte: autoria própria.

### 3.2.3 Ensaio de resistência ao impacto

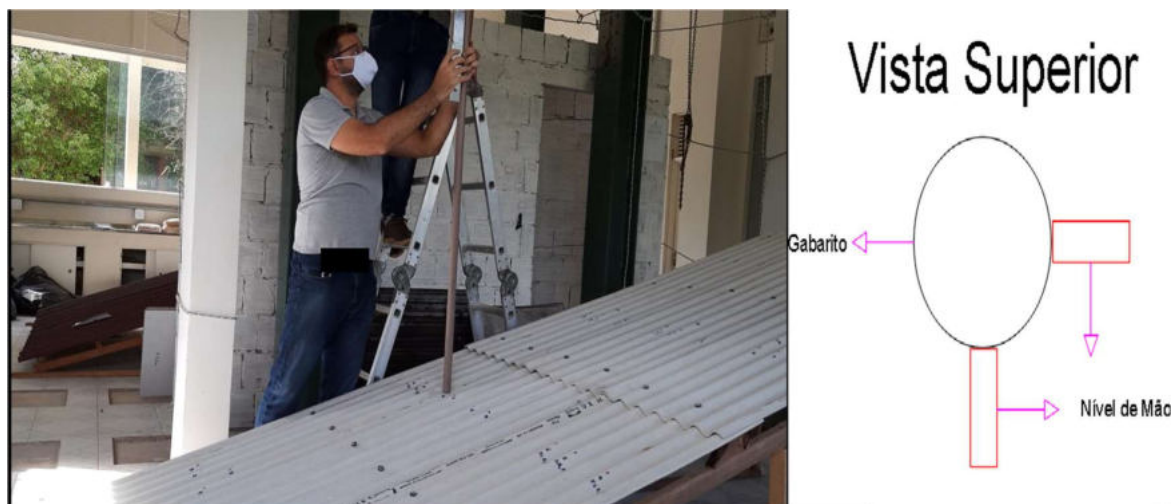
Para a análise do desempenho das telhas frente à ação de impacto será realizado o ensaio previsto na norma ABNT NBR 15575-5:2013, que consiste em submeter um trecho representativo do telhado do corpo de prova a impactos de corpo-duro, para isso será utilizado a esfera de aço maciça, que será abandonada em queda livre dentro de um tubo de PVC de 32mm de diâmetro com os respectivos comprimentos equivalentes as alturas de queda especificadas na norma,

Sendo assim, esse tubo tem função de gabarito, sendo verticalizado com auxílio de um nível de mão em relação aos eixos perpendiculares de sua seção transversal conforme o esquema apresentado na figura 3.12, de forma que a esfera durante a queda não toque a



superfície interna do gabarito e, desse modo, não dissipe energia cinética durante a trajetória de queda.

Figura 3.12: verticalização do gabarito.



Fonte: Autoria própria.

A esfera foi abandonada a partir das alturas indicadas na tabela 3.3. A Norma estabelece que o impacto seja realizado no ponto de maior fragilidade, sendo esse o ponto médio entre as linhas de fixação horizontal da telha em ondas que não estão fixadas em áreas próximas.

A figura 3.14 ilustra os pontos de impacto escolhidos para a telha de fibrocimento e a figura 3.14 para a telha de papel reciclado, e indicados em circunferências de cor vermelha. Sendo assim, para cada altura de lançamento foram realizados dois impactos em cada telha; sendo os impactos de números 1 e 2 para alturas de 1,50m, os impactos 3 e 4 para altura de 2,30m, e os impactos de números 5 e 6 para altura de 3,80 m, realizando-se, portanto, nos 6 pontos de aplicação de impactos em cada telha, gerando 36 impactos para cada corpo de prova. utilizado dos quais foram 12 lançamentos para cada altura de lançamento. A relação de energia e altura é feita de acordo com a equação 3.

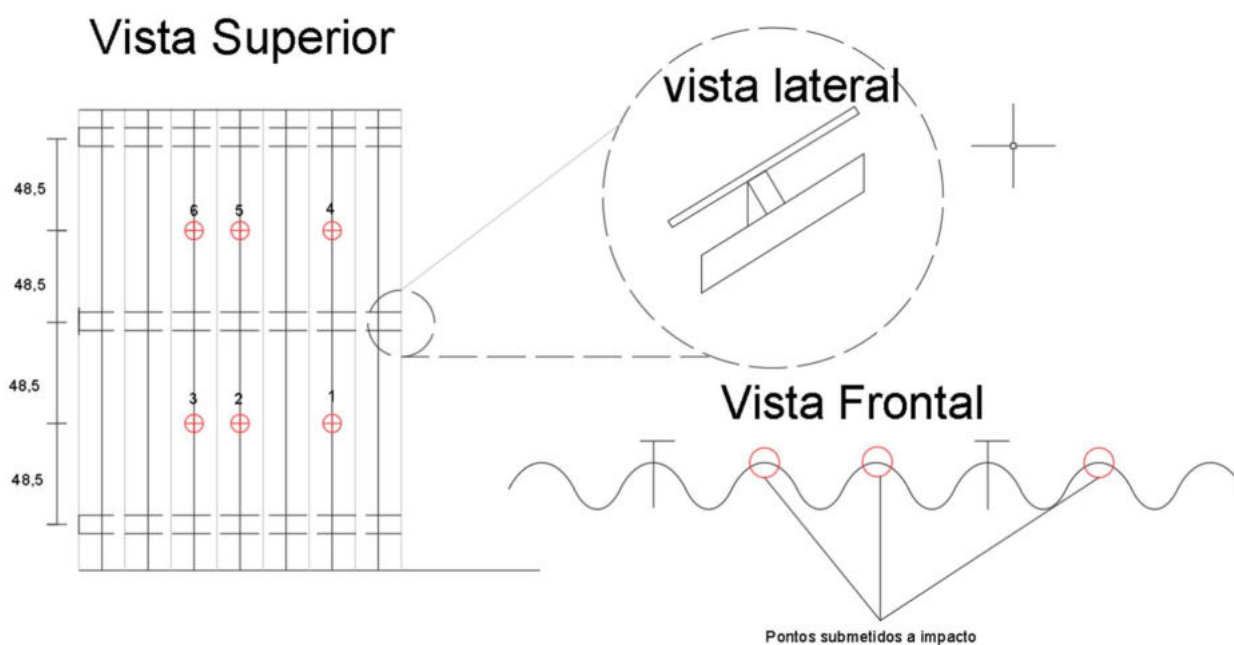


Tabela 3.3: Massa de corpo duro  $m$ (g), altura  $H$ (m) e energia de impacto  $E$ (Joules).

Percussor de impacto	$m$ (g)	$H$ (m)	$E$ (J)	Níveis de desempenho
Corpo duro (esfera maciça de aço)	65,6	1,50	1,0	Mínimo - M
		2,30	1,5	Intermediário - I
		3,80	2,5	Superior -S

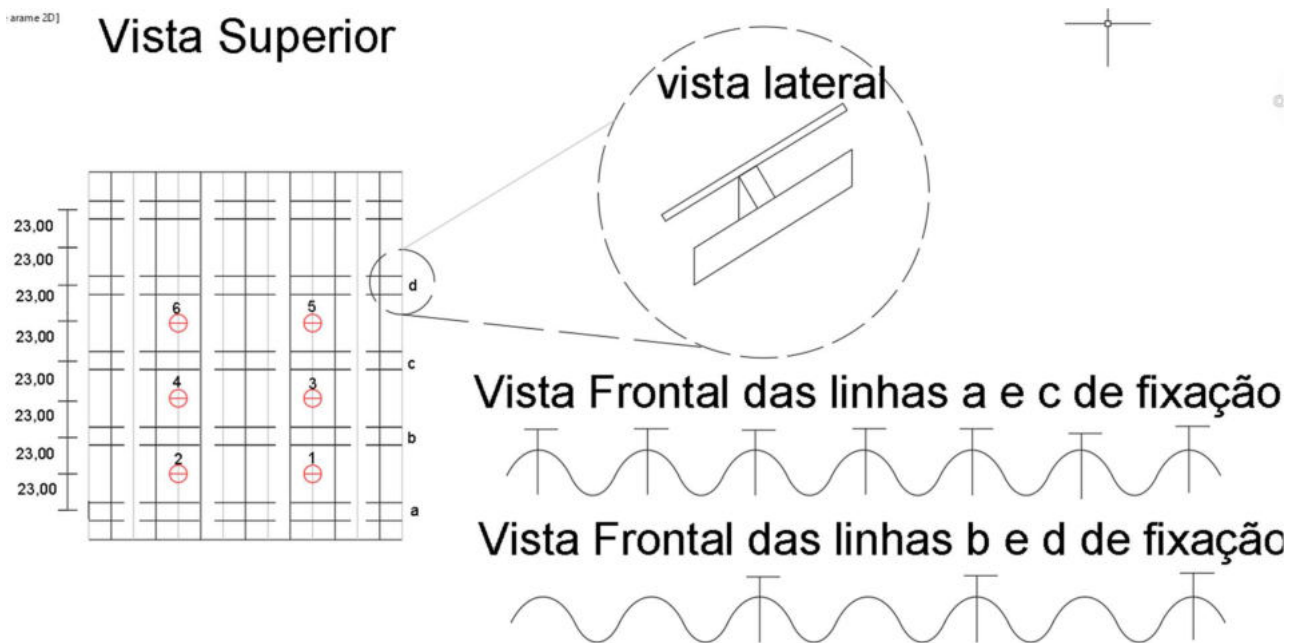
Fonte: ABNT NBR 15575-5:2013.

Figura 3.13: Escolha dos pontos de aplicação do impacto para telha de fibrocimento.



Fonte: autoria própria.

Figura 3.14: Escolha dos pontos de aplicação do impacto para telha de papel reciclado.



Fonte: autoria própria.

Após cada impacto foi verificado com auxílio da lupa a identificação do tipo de dano gerado e com um fissurômetro provido de graduação em milímetros, foi medido o diâmetro da deformação resultante na superfície, identificando-se a área de ação do dano.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISE

A análise dos resultados obtidos é apresentada para os corpos de prova 1 e 2.

### 4.1 Corpo de prova 1

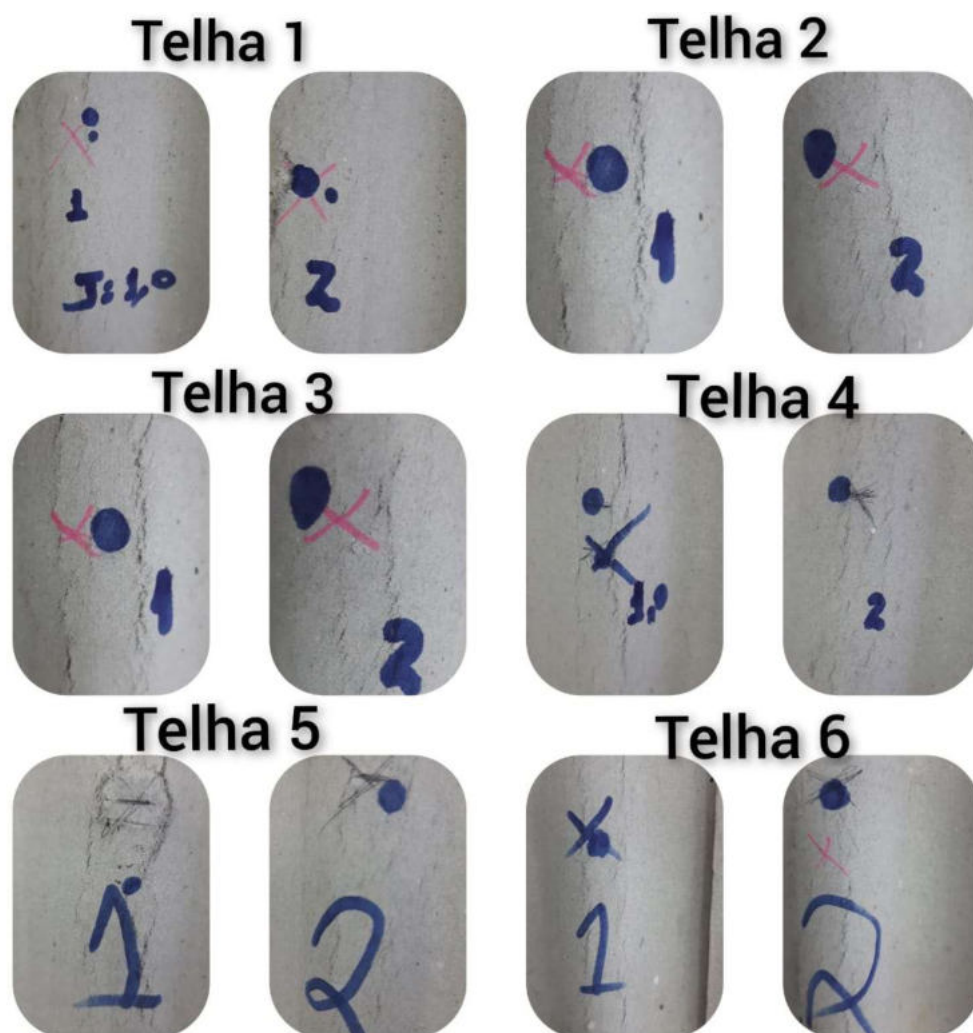
No corpo de prova 1 os danos gerados pela energia de impacto de 1,0 J, para altura de lançamento de 1,50 m nas seis telhas se assemelharam e sendo identificados uma deformação por abaulamento, cujo diâmetro variou entre  $6\text{mm} \pm 1\text{ mm}$ , caracterizando-se como sem perda de estanqueidade e, portanto, sendo aprovado seu desempenho frente a ação do impacto conforme a norma ABNT NBR 15575-5. A tabela 3.4 especifica os resultados obtidos em todas as telhas do corpo de prova 1 para essa energia, e a figura 3.15 apresenta a fotografia das regiões ensaiadas.

Tabela 3.4: Resultados do corpo de prova 1 para energia de 1,0 J, (H = 1,50 m).

Telha	Ponto de Impacto	Perda de estanqueidade	Fissuras visível	Abaulamento
1	1	Não	Não	Sim, de 5,0 mm
1	2	Não	Não	Sim, de 7,0 mm
2	1	Não	Não	Sim, de 6,0 mm
2	2	Não	Não	Sim, de 7,0 mm
3	1	Não	Não	Sim, de 5,0 mm
3	2	Não	Não	Sim, de 6,0 mm
4	1	Não	Não	Sim, de 6,0 mm
4	2	Não	Não	Sim, de 5,0 mm
5	1	Não	Não	Sim, de 6,0 mm
5	2	Não	Não	Sim, de 5,0 mm
6	1	Não	Não	Sim, de 6,0 mm
6	2	Não	Não	Sim, de 7,0 mm

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.15: Região impactada para energia de 1,0 J, H = 1,50 m, corpo de prova 1.



Fonte: Autoria própria.

A partir das medições dos diâmetros dos abaulamentos nos pontos de impacto, foi calculado a média aritmética e o desvio padrão. Sendo obtido uma média de 5,9 mm e um desvio padrão de 0,79 denotando uma elevada precisão do valor médio.

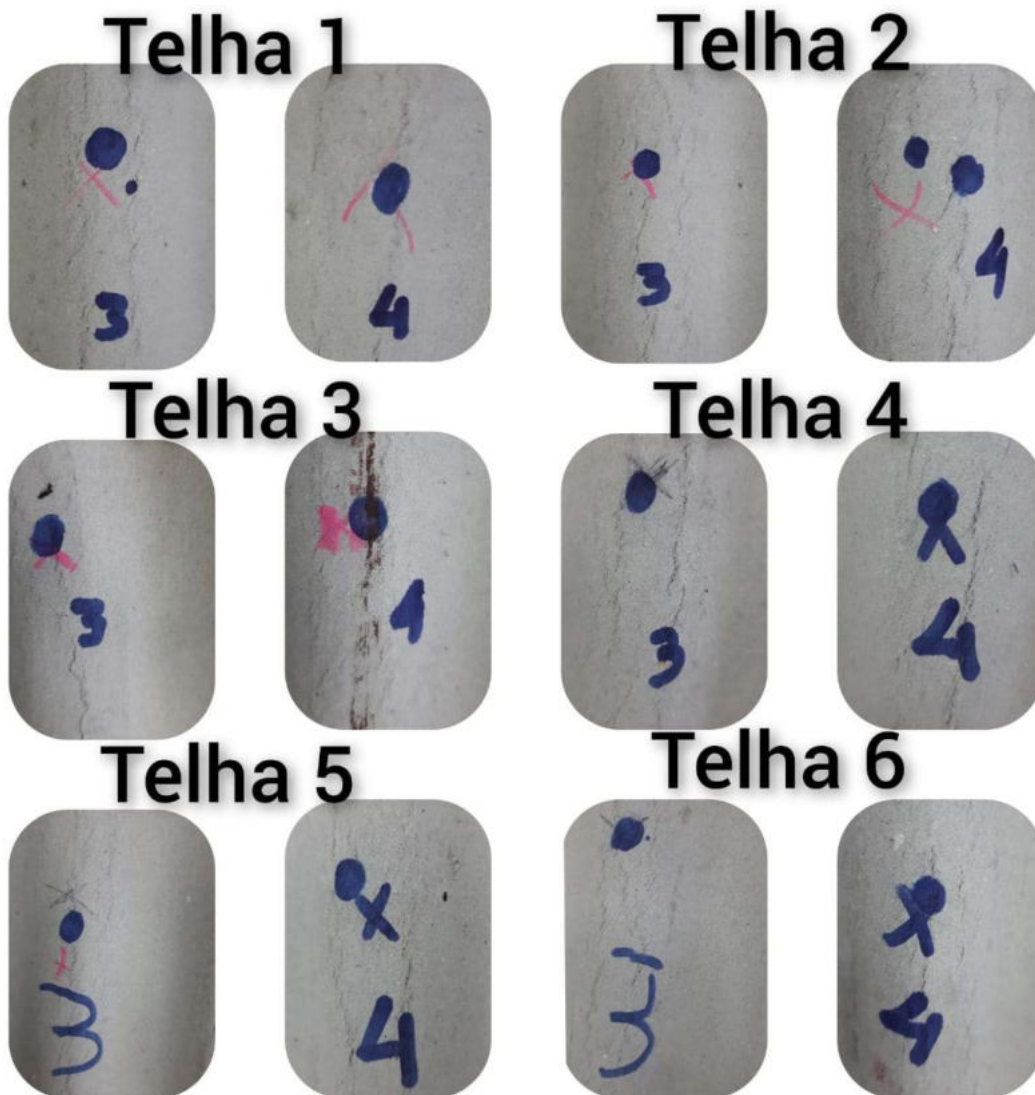
Para energia de 1,5 J, correspondente a uma altura de 2,30m também não foi gerado perda de estanqueidade nem fissuras para as seis telhas que compõem o corpo de prova 1, no entanto, o diâmetro do abaulamento gerado pelos impactos na superfície das telhas aumento e ficou compreendido no intervalo de  $8\text{mm} \pm 2\text{mm}$  A tabela 3.5 apresenta os resultados obtidos em todas as telhas do corpo de prova 1 para a energia de 1,5 J, e a figura 3.16 mostra os pontos de impacto, e suas respectivas deformações com diâmetros médios de abaulamento de 7,7 mm ,e o desvio padrão de 1,14, evidenciando, também, uma precisão satisfatória.

Tabela 3.5: Resultados do corpo de prova 1 para energia de 1,5 J (H = 2,30m).

Telha	Ponto de Impacto	Perda de estanqueidade	Fissuras visível	Abaulamento
1	3	Não	Não	Sim, de 6,0 mm
1	4	Não	Não	Sim de 7,0 mm
2	3	Não	Não	Sim, de 7,0 mm
2	4	Não	Não	Sim, de 7,0 mm
3	3	Não	Não	Sim, de 9,0 mm
3	4	Não	Não	Sim, de 8,0 mm
4	3	Não	Não	Sim, de 7,0 mm
4	4	Não	Não	Sim, de 7,0 mm
5	3	Não	Não	Sim, de 9,0 mm
5	4	Não	Não	Sim, de 10,0 mm
6	3	Não	Não	Sim, de 8,0 mm
6	4	Não	Não	Sim, de 8,0 mm

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.16: Região impactada para energia de 1,5 J H = 2,30 m, corpo de prova 1.



Fonte: Autoria própria.

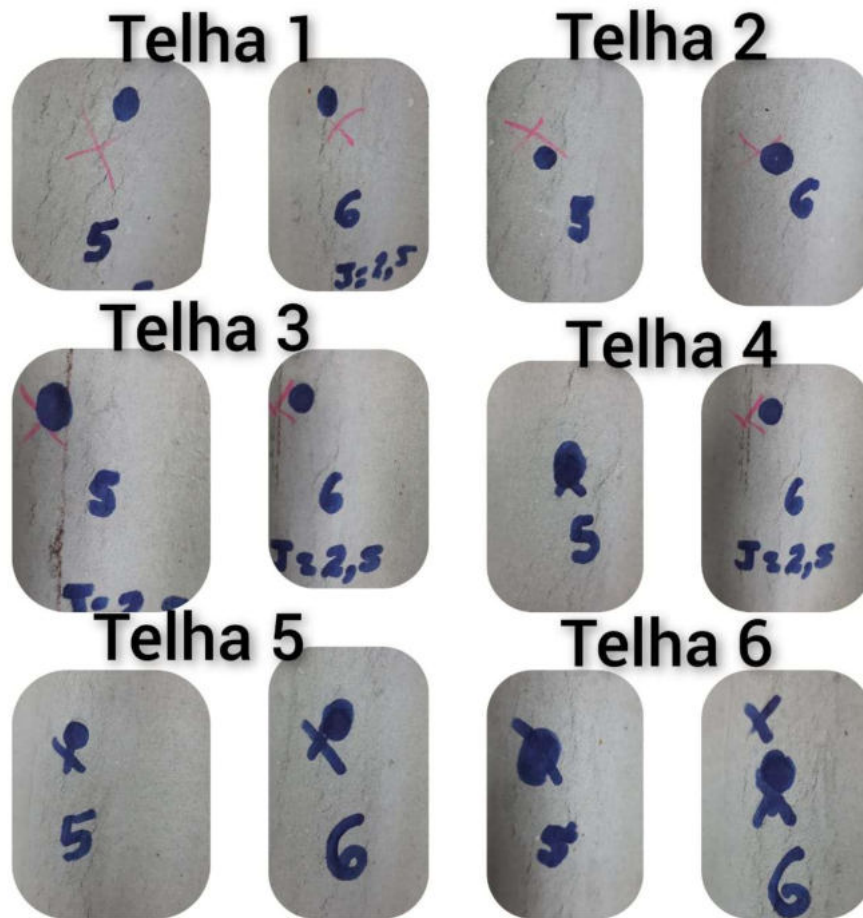
A energia de impacto de 2,5 J para as seis telhas ensaiadas, correspondente à altura de lançamento de 3,80m, não resultou em perda de estanqueidade nem em aparecimento de fissuras, restringindo-se o efeito resultante a uma deformação de abaulamento, cujo diâmetro variou, para as seis telhas, no intervalo de  $10\text{mm} \pm 2\text{ mm}$ , com média de 9,91 mm e desvio padrão 0,67. A figura 3.17 ilustra as regiões ensaiadas e a tabela 3.6 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 3.6: Resultados do corpo de prova 1 para energia de 2,5 J, (H = 3,80 m).

Telha	Ponto de Impacto	Perda de estanqueidade	Fissuras visíveis	Abaulamento
1	5	Não	Não	Sim, de 10,0 mm
1	6	Não	Não	Sim, de 10,0 mm
2	5	Não	Não	Sim, de 9,0 mm
2	6	Não	Não	Sim, de 10,0 mm
3	5	Não	Não	Sim, de 11,0 mm
3	6	Não	Não	Sim, de 10,0 mm
4	5	Não	Não	Sim, de 10,0 mm
4	6	Não	Não	Sim de 10,0 mm
5	5	Não	Não	Sim, de 11,0 mm
5	6	Não	Não	Sim, de 10,0 mm
6	5	Não	Não	Sim, de 9,0 mm
6	6	Não	Não	Sim, de 9,0 mm

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.17: Região impactada para energia de 2,5 J, H = 3,80 m, corpo de prova 1.



Fonte: Autoria própria.

#### 4.2 Corpo de prova 2

Para o corpo de prova 2 com telhas de fibra vegetal de papel reciclado, os resultados da energia de impacto de 1,0 J correspondendo a alturas de lançamento de 1,50 m para as seis telhas ensaiadas, poucos efeitos foram observados e apenas pequenos abaulamentos identificados e da ordem de 2mm. A média desses valores resultou em 0,3 mm com um desvio padrão de 0,78, os resultados obtidos nessa etapa estão apresentados na tabela 3.8, e a figura 3.18 apresenta as regiões ensaiadas.



Tabela 3.8: Resultados do corpo de prova 2 para energia de 1,0 J, (H = 1,50 m).

Telha	Ponto de Impacto	Perda de estanqueidade	Fissuras visíveis	Abaulamento
1	1	Não	Não	Não
1	2	Não	Não	Não
2	1	Não	Não	Não
2	2	Não	Não	Não
3	1	Não	Não	Não
3	2	Não	Não	Não
4	1	Não	Não	Não
4	2	Não	Não	Não
5	1	Não	Não	Sim, de 2,0 mm
5	2	Não	Não	Não
6	1	Não	Não	Não
6	2	Não	Não	Sim, de 2,0 mm

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.18: Região impactada para energia de 1,0 J, H = 1,50 m, corpo de prova 2.



Fonte: Autoria própria.

Já para energia de 1,5 J correspondendo a uma altura de lançamento da esfera de 2,30 m, o resultado foi um pouco diferente pois começaram a aparecer abaulamentos mais frequentes e um pouco maiores, embora ainda fossem pouco perceptíveis e em alguns casos sensíveis apenas ao tato, obtendo-se valores dos diâmetros médios nos pontos de impacto de 1,2 mm com desvio padrão de 1,31mm. Nessa etapa do ensaio foram dispensados os pontos 3 e 4 da telha 5 pela dificuldade de acesso para posicionamento do gabarito utilizado para altura de lançamento da esfera. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 3.9, e a figura 3.19 ilustra os pontos de impacto.

Tabela 3.9: Resultados do corpo de prova 2 para energia de 1,5 J, H = 2,30 m.

Telha	Ponto de Impacto	Perda de estanqueidade	Fissuras visíveis	Abaulamento
1	3	Não	Não	Sim, de 2,0 mm
1	4	Não	Não	Não
2	3	Não	Não	Sim, de 2,0 mm
2	4	Não	Não	Sim, de 3,0 mm
3	3	Não	Não	Não
3	4	Não	Não	Não
4	3	Não	Não	Sim, de 3,0 mm
4	4	Não	Não	Não
5	3	Não ensaiado	Não ensaiado	Não ensaiado
5	4	Não ensaiado	Não ensaiado	Não ensaiado
6	3	Não	Não	Não
6	4	Não	Não	Sim, de 2,0 mm

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.19: Região impactada para energia de 1,5 J, H = 2,30 m, corpo de prova 2.



Fonte: Autoria própria.

Para a energia de impacto de 2,5 J, correspondendo a altura de lançamento de 3,80 m, os danos apresentados continuaram muito similares, não havendo fissuração ou perda de estanqueidade, resultando apenas em um abaulamento sutil. Os valores médios do diâmetro dessas deformações foi 3,67 mm com desvio padrão de 0,89mm. Os dados obtidos estão mostrados na tabela 3.10, e a figura 3.20 ilustra os pontos do impacto.

Tabela 3.10: Resultados do corpo de prova 2 para energia de 2,5 J, (H = 3,80 m).

Telha	Ponto de Impacto	Perda de estanqueidade	Fissuras visíveis	Abaulamento
1	5	Não	Não	Sim, de 4,0 mm
1	6	Não	Não	Sim, de 4,0 mm
2	5	Não	Não	Sim, de 5,0 mm
2	6	Não	Não	Sim, de 3,0 mm
3	5	Não	Não	Sim, de 4,0 mm
3	6	Não	Não	Sim, de 5,0 mm
4	5	Não	Não	Sim, de 3,0 mm
4	6	Não	Não	Sim, de 3,0 mm
5	5	Não	Não	Sim, de 4,0 mm
5	6	Não	Não	Sim, de 2,0 mm
6	5	Não	Não	Sim, de 4,0 mm
6	6	Não	Não	Sim, de 3,0 mm

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.20: Região impactada para energia de 2,5 J, H = 3,80 m, corpo de prova 2.

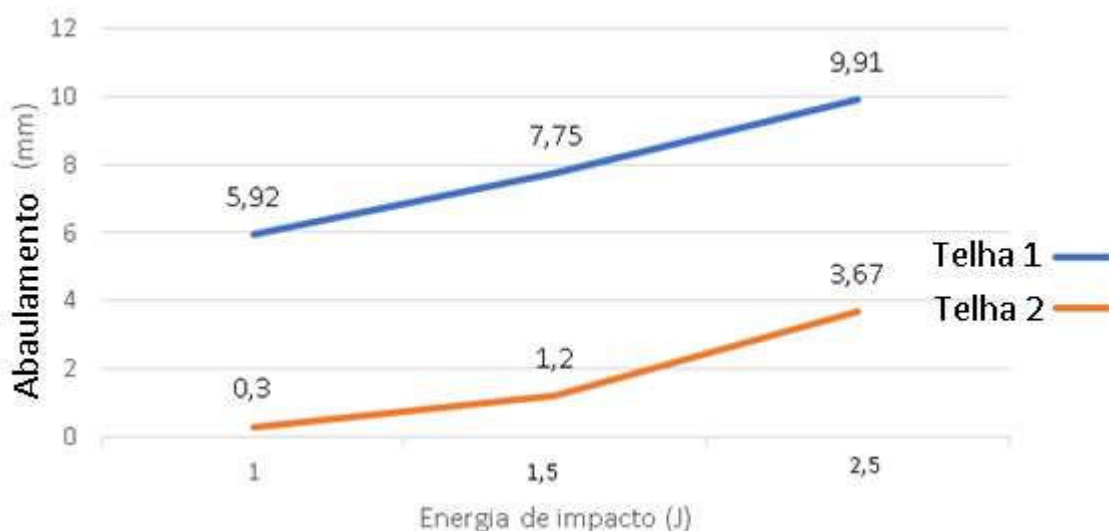


Fonte: Autoria própria.

### 4.3 Deformação em função da energia de impacto para os corpos de prova 1 e 2

Plotando-se em um gráfico cartesiano, para os corpos de prova 1 e 2, no eixo das ordenadas os comprimentos médios dos diâmetros nos pontos de impacto, e no eixo das abcissas as alturas especificadas, obtém-se as curvas apresentadas na figura 3.21. A análise gráfica restringe-se a deformação por abaulamento nas telhas, uma vez que esse foi o único efeito gerado pela ação dos impactos aplicados. A figura mostra graficamente a evolução das deformações pelo efeito da altura de queda para os dois corpos de prova ensaiados, assim como o desempenho de cada tipo de telha. Observa-se que os efeitos no corpo de prova 1, telha de fibrocimento, geraram maiores deformações que no corpo de prova 2, com telhas de fibra vegetal.

Figura 3.21: Gráfico comparativo da ação do impacto.



Fonte: Autoria própria.

## 5. CONCLUSÃO

Com relação aos resultados obtidos pode-se concluir que:

Sobre nível de desempenho: os dois corpos de prova não sofreram nenhum dano funcional para a altura de lançamento de 3,80 m nos ensaios dois tipos telhas. Portanto, atendem ao nível de desempenho superior estabelecido pela norma ABNT NBR 15575:2013;

Com relação a energia de deformação: para energia de 1 joule, correspondendo a altura de queda de 1,50 m o corpo de prova 2 apresentou abaulamento 95,0 % inferior em relação apresentado pelo corpo de prova 1. Essas diferenças foram mitigadas para 84,5 % e 63,0 % correspondendo respectivamente as alturas de queda de 2,30 m e 3,80 m. Portanto, evidencia-se que para os níveis de energia inferiores existe diferença acentuada entre as deformações, no entanto à medida que os níveis de energia de impacto aumentam essas diferenças tornam-se menos significativas entre os comportamentos dos tipos de telhas ensaiados;

Como conclusão geral pode-se afirmar que a luz dos experimentos desenvolvidos, a telha feita de fibra vegetal apresentou melhor desempenho quanto carga de impacto do que a telha de fibrocimento sem amianto. Este resultado corrobora para justificar a adequada inserção do material não convencional no mercado da construção civil.

## **6. SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS**

Apesar do trabalho ter atingido seu objetivo alguns pontos importantes do desempenho do ponto de vista mecânico não foram explorados no estudo comparativo entre as telhas como a resistência a flexão e a determinação da resistência às cargas concentradas.

Além disso, seria mais representativo ensaiar para alturas de lançamento da esfera maciça maiores do que a NBR 15575-5 /2013 requer para que fosse analisada o ponto em que a telha começaria a apresentar danos funcionais.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15210, Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios, 2013.

CALIL JÚNIOR, C.; MOLINA, J.C. Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo. Editora Pini. Ed. 1. São Paulo, 2010.

CARDOSO, F.F. Coberturas em telhados - notas de aula. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

CASTRO, H.; GOMES, V.R. Doenças do aparelho respiratório relacionadas à exposição ao asbesto. Revista Pulmão, Rio de Janeiro, jan.-mar. 1998.

COUTTS, R. S. P. *A review of Australian research into natural fibre cement composites. Cement and Concrete Composites, Barking, 2005.*

COELHO, C.C.T. GOMES, M.E.C. DORNELLES, A.K. Desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. São Paulo, 2017. Universidade Estadual de Campinas, 2017.

CASTRO, H. et al. A saúde e as condições de trabalho dos trabalhadores expostos ao amianto de uma indústria têxtil no Rio de Janeiro: Análise e Intervenções da Realidade. CESTEH/ENSP. São Paulo. 1999.

Catálogo de telhas Onduline. São Paulo, 2018.

Catálogo de telhas Eternit. São Paulo, 2014.

DIAS, C. M. R.; SAVASTANO JÚNIOR, Holmer; JOHN, Vanderley Moacyr. *Exploring the potential of functionally graded materials concept for the development of fiber cement. Construction and Building Materials, Amsterdam, 2010.*

DOMÍNGUEZ et al. *Control climático en espacios abiertos – el proyecto Expo'92. Grupo de Termotecnia. Depto. de Ingeniería y Mecánica de Fluidos. Universidad de Sevilla. Sevilla – España, 1992*



GESSLER, S. E.; PETTY, S. E. *Hail fundamentals and general hail-strike damage assessment methodology*. in: PETTY, S. E., editor. *Forensic Engineering Investigation. Damage Assessments for Residential and Commercial structures*. New York: CRC Press, 2013.

HALLIDAY D.; RESNICK R.; WALKER J. Fundamentos da Física 2: Gravitação, Ondas, Termodinâmica. São Paulo: Ltc, 2012, v. 2. 8ª ed.

HIBBELER, R. C. Dinâmica: Mecânica para engenharia / R.C. Hibbeler; tradução Jorge Ritter; revisão técnica José Maria Campos dos Santos. 12ª ed. São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2011.

LESSA, S. L. M. Critérios de sustentabilidade para elementos construtivos – um estudo sobre telhas “ecológicas” empregadas na construção civil. Bahia, 2009. (Tese Mestrado) - escola politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2009.

LOGSDON, B. N. Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997. Mato Grosso 2002. Universidade Federal De Mato Grosso, 2002.

MARQUES. M.V. Avaliação de aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com e sem amianto. Rio Grande do Sul, 2014. (Tese Mestrado) - Universidade Do Vale Do Rio Dos Sinos, 2014.

MONTENEGRO, Gildo A. Ventilação e cobertas: estudo teórico, histórico e descontraído: a arquitetura tropical na prática. São Paulo: E. Blücher, 1984.

MOLITERNO, A. Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira. 4ed. rev. São Paulo, Blucher, 2010.

SAVASTANO JUNIOR, H. Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito. 1992. 249p. Tese (Doutorado) Escola politécnica de São Paulo, São Paulo, 1992.

SILVA, A. L. G. Da e ETULAIN, C. Avaliação do impacto econômico da proibição do uso de amianto na construção civil no Brasil. Relatório Técnico. Universidade Estadual de Campinas, 2010.

SCLIAR, C. Amianto, mineral mágico ou maldito? Ecologia humana e disputa político-econômica, 152 f. Belo Horizonte: Ed. Belo Horizonte. 1998.

RODRIGUES, T. T. Polímeros nas indústrias de embalagens. Minas Gerais, 2018. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.