



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

SUELLEN FINIZOLA DANTAS MAIA

**VIABILIDADE TÉCNICA DE PLÁSTICO RECICLADO
NA FABRICAÇÃO DO FRECHAL UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO
DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR**

JOÃO PESSOA - PB

2013

SUELLEN FINIZOLA DANTAS MAIA

**VIABILIDADE TÉCNICA DE PLÁSTICO RECICLADO
NA FABRICAÇÃO DO FRECHAL UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO
DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Bernadete Fernandes Vieira de Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

Área de Concentração: Gestão da Produção

JOÃO PESSOA - PB

2013

M217v Maia, Suellen Finizola Dantas

Viabilidade técnica de plástico reciclado na fabricação do frechal utilizado na construção de habitação unifamiliar. / Suellen Finizola Dantas Maia – João Pessoa, 2013.

101f. il.:

Orientadora: Profa. Dra. Maria Bernadete Fernandes Vieira de Melo

Dissertação (Curso de Mestrado em Engenharia de Produção. Centro de Tecnologia - CT. Universidade Federal da Paraíba - UFPB).

1. Habitações Unifamiliares 2. Material Plástico 3. Desenvolvimento de Novos Produtos I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 658.5(043)

SUELLEN FINIZOLA DANTAS MAIA

**VIABILIDADE TÉCNICA DE PLÁSTICO RECICLADO
NA FABRICAÇÃO DO FRECHAL UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO
DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR**

Dissertação julgada e _____ em ____/____/____, como requisito necessário para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Bernadete Fernandes Vieira de Melo
Universidade Federal da Paraíba - PPGEF**

**Co-orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa
Universidade Federal da Paraíba - PPGEUA**

**Examinador interno: Prof. Dr. Antônio Souto Coutinho
Universidade Federal da Paraíba – PPGEF**

**Examinador externo: Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba**

Dedico este trabalho a meu esposo Saul Dantas Maia inventor do Frechal de Plástico Reciclado, pelo qual se não fosse o seu entusiasmo, brilhantismo e persistência nada disso teria sido possível. Então muitíssimo obrigada por ser humilde o suficiente para permitir que sua ideia servisse como projeto de dissertação e conseqüentemente título de Mestre. Deus lhe abençoe meu amor e muito obrigada por ser tudo de mais importante em minha vida. Eu te amo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois é a razão do meu viver, e meu motivo de sempre persistir em realizar meus sonhos. Agradeço ao Senhor pelo milagre que me concedeu no final da elaboração desta dissertação que é a dádiva de ser mãe, Glória a Deus.

A meu esposo que segura em minha mão e me apoia em todos os momentos de minha vida.

A minha mãe Eliane Finizola, aos meus irmãos Filipe e Lucas que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

A professora, amiga, mãe Bernadete que ao longo dos meus anos no PPGEP sempre me cativou com seu sorriso, palavras e mão amiga extremamente importante para que esta dissertação pudesse ser iniciada, desenvolvida e concluída.

Ao professor Normando Perazzo que me proporcionou tantas oportunidades nunca sequer imaginadas por mim, obrigada professor pela credibilidade depositada em mim, seus ensinamentos levarei eternamente comigo.

Ao professor Antônio Souto Coutinho, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao professor Ulisses por sua colaboração e ensinamentos em mim depositados.

Aos amigos do PPGEP que dividiram comigo momentos acadêmicos, colaboração científica e amizade. Em especial a Alline Thamyres, por todas as suas palavras de força e presença nos momentos mais importantes.

Aos funcionários do Laboratório de Materiais e Produtos Cerâmicos; Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas e do Laboratório de Solidificação Rápida, que foram peça chave para a realização deste trabalho. Aos funcionários do PPGEP em especial Ana Araújo, Elizama Marques e Nildo que sempre me receberam com um sorriso no rosto.

Ao professor Marcel Gois por ter me proporcionando grande ensinamento em meu estágio docência além de toda a contribuição acadêmica.

Ao programa Demanda Social/CAPES por conceder a bolsa de mestrado.

*“As pessoas que são loucas o suficiente para achar que
podem mudar o mundo são aquelas que o mudam”.*

Comercial “Pense diferente” da Apple, 1997.

RESUMO

A redução no campo da construção civil do consumo de madeira, que no Brasil, e sobretudo no Nordeste brasileiro, é quase toda originária do que resta da floresta amazônica, seria um benefício ambiental considerável para o país. O aproveitamento de resíduos plásticos que são lançados aleatoriamente por toda parte, também seria de muito valor para o meio ambiente. Neste trabalho, procurou-se verificar a viabilidade técnica do emprego de um produto feito com resíduos de plástico, desempenhando o papel de Frechal, para emprego em habitações, em substituição às peças de madeira comumente usadas para tal. Foi inicialmente feita uma revisão bibliográfica sobre construções unifamiliares, material plástico e desenvolvimento de novos produtos. Foram estudadas as propriedades do material tais como densidade, resistência à compressão, resistência à flexão, resistência a cargas concentradas. Os resultados mostraram que o produto testado, apesar de ser flexível, aplica-se bem na função de frechal, porque ali trabalha apoiado continuamente na parede.

Palavras-chave: Habitações Unifamiliares. Material Plástico. Desenvolvimento de Novos Produtos.

ABSTRACT

In Brazil, especially in Northeastern region, the wood used in civil construction, is almost all from Amazonian forest. The reduction of its consumption will be an environmental benefit. The utilization of waste plastics that are randomly thrown everywhere, would also be beneficial to the environment. In this work, we tried to verify the technical viability of a product made from waste plastic as *frechal* for housing, replacing the wooden parts commonly used for such. A literature review on single-family construction, plastic material and new product development was initially made. Material properties such as density, compressive strength, flexural strength, resistance to concentrated loads were studied. The results showed that the tested product, although flexible, it applies well in *frechal* function because there it works continuously against the wall top.

Keywords: Single-family dwellings. Plastic Material. New Product Development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 01: Distribuição percentual dos plásticos descartados pela sociedade...	20
Gráfico 02: Comparação das massas dos corpos-de-prova.....	78
Gráfico 03: Curva carga de deformação no ensaio de flexão.....	79
Gráfico 04: Resistência à compressão do Frechal.....	80
Gráfico 05: Comportamento da Fluência 1.....	82
Gráfico 06: Comportamento da Fluência 2.....	83
Gráfico 07: Variação da resistência com a temperatura.....	85
Gráfico 08: Ensaio para módulo de elasticidade CP “X”.....	87
Gráfico 09: Ensaio para módulo de elasticidade CP “Y”.....	88
Figura 01: Planta Baixa – Habitação Unifamiliar.....	16
Figura 02: Etapas do Processo de Construção de uma Habitação Unifamiliar...	16
Figura 03: Ilustração da Estrutura de uma Habitação Unifamiliar.....	18
Figura 04: Fluxograma de Reciclagem Mecânica para fabricação do Frechal de plástico.....	22
Figura 05: Peças estruturais da cobertura.....	28
Figura 06: Inclinação do Telhado para telhas cerâmicas.....	29
Figura 07: Estrutura do telhado.....	30
Figura 08: Espaçamento entre as peças do telhado.....	31
Figura 09: Tipos de amarração de madeira.....	32
Figura 10: Tipos de ancoragem.....	33
Figura 11: Resistência à tração.....	34
Figura 12: Resistência à compressão.....	35
Figura 13: Resistência ao cisalhamento ou corte.....	35
Figura 14: Resistência à flexão.....	35
Figura 15: Resistência à flambagem.....	36
Figura 16: Resistência composta.....	36
Figura 17: Superfície do telhado de uma água.....	41
Figura 18: Superfície do telhado de duas águas.....	42
Figura 19: Superfície do telhado de quatro águas.....	42
Figura 20: Ilustração do Beiral.....	43

Figura 21: Ilustração da Platibanda.....	43
Figura 22: Ilustração do Oitão.....	44
Figura 23: Diagrama típico dos materiais plásticos.....	47
Figura 24: Efeito da temperatura no comportamento dos plásticos.....	47
Figura 25: Efeito da variação da taxa de deformação nos plásticos.....	48
Figura 26: Fluência e recuperação de um material plástico.....	48
Figura 27: Fases do desenvolvimento de novos produtos.....	51
Figura 28: Mortalidade de novas ideias sobre produtos.....	53
Figura 29: Diagrama de blocos.....	55
Figura 30: Processo projectual descritivo.....	56
Figura 31: Processo projectual prescritivo.....	57
Figura 32: Fluxograma dos testes realizados no Frechal.....	63
Figura 33: Corpos de Prova do Frechal.....	65
Figura 34: Corpos-de-prova X e Y.....	66
Figura 35: Balança Centesimal BEL.....	67
Figura 36: Processo de imersão dos CP na água.....	67
Figura 37: Processo de pesagem dos CP saturados.....	68
Figura 38: Máquina para ensaio de resistência à flexão.....	69
Figura 39: Preparação do dispositivo para ensaio de resistência à flexão.....	69
Figura 40: Ensaio de Flexão.....	69
Figura 41: Prensa universal 1 para ensaio de compressão.....	70
Figura 42: Prensa universal 2 para ensaio de compressão.....	71
Figura 43: Ensaio de resistência à compressão.....	71
Figura 44: Extensômetro usado no ensaio de fluência.....	72
Figura 45: Pesos aplicados ao CP.....	73
Figura 46: Ensaio de Fluência.....	73
Figura 47: Corpos-de-prova para ensaio de compressão à temperatura.....	74
Figura 48: Estufa de esterilização e secagem com termômetro para aferição..	74
Figura 49: Ensaio de resistência ao apoio.....	75
Figura 50: Corpos-de-prova utilizados para ensaio do módulo de elasticidade..	75
Figura 51: Equipamento para ensaio de elasticidade.....	76
Figura 52: Ensaio modelo de elasticidade no CP.....	76
Figura 53: Corpos-de-prova usados no ensaio de Absorção.....	78
Figura 54: Corpo-de-prova rompido.....	80

Figura 55: Corpos-de-prova rompidos após o ensaio de compressão.....	82
Figura 56: Frechal no ensaio de fluência.....	85
Figura 57: Corpos-de-prova rompidos.....	86
Figura 58: Ensaio de resistência ao apoio.....	87
Figura 59: Frechal após ensaio de resistência ao apoio.....	88
Figura 60: Ensaio para determinação do módulo de elasticidade em compressão.....	90
Figura 61: Acidente provocado pelo uso da ferramenta Enxó.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classificação química dos polímeros.....	19
Tabela 02: Classificação dos plásticos para reciclagem.....	22
Tabela 03: Nomenclatura das peças estruturais da cobertura.....	28
Tabela 04: Medidas das peças estruturais do telhado.....	31
Tabela 05: Afastamento dos caibros, terças e tesouras.....	31
Tabela 06: Propriedades mecânicas e tensões admissíveis de algumas madeiras.....	38
Tabela 07: Coeficiente de dilatação dos materiais.....	39
Tabela 08: Tipos de telhas.....	40
Tabela 09: Exemplo mensuração das calhas e condutores.....	44
Tabela 10: Propriedades físicas dos termoplásticos e termofixos.....	46
Tabela 11: Propriedades mecânicas dos plásticos.....	49
Tabela 12: Técnicas de geração de ideias.....	53
Tabela 13: Variáveis e indicadores do trabalho em estudo.....	64
Tabela 14: Tipo de teste e dimensão do corpo de prova (CP).....	65
Tabela 15: Massa específica Frechal.....	77
Tabela 16: Dados referentes à Absorção do Frechal.....	78
Tabela 17: Dados resistência à tração na flexão.....	79
Tabela 18: Dados referente à Resistência à compressão.....	81
Tabela 19: Dados ensaio de fluência 1.....	83
Tabela 20: Dados ensaio de fluência 2.....	84
Tabela 21: Dados resistência com temperatura.....	85
Tabela 22: Indicadores e resultados do Frechal.....	91

LISTA DE SIGLAS

ICC – Indústria da Construção Civil

CEC – Clube de Engenheiros Civis

NBR – Norma Brasileira Registrada

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

PI – Patente de Invenção

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Intelectual

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química

PVC – Policloreto de Vinila

PLASTIVIDA - Instituto Sócio-ambiental dos Plásticos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E O PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivo Geral.....	25
1.3.2 Objetivos Específicos.....	25
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	25
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1 HABITAÇÕES UNIFAMILIARES.....	27
2.1.1 Estrutura do Telhado.....	27
2.1.1.1 Tensão, Resistência, Coeficiente de Segurança e Variações de Comprimento Devido às Variações de Temperatura.....	34
2.1.1.1.1 Tensão.....	34
2.1.1.1.2 Resistência.....	34
2.1.1.1.3 Coeficiente de Segurança e Tensão Admissível.....	37
2.1.1.1.4 Variações de comprimento devido às variações de temperatura.....	39
2.1.2 Cobertura do Telhado.....	40
2.1.3 Sistema de captação de águas pluviais.....	44
2.2 O MATERIAL PLÁSTICO.....	45
2.3 VIABILIDADE TÉCNICA DENTRO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS.....	49
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	60
3 METODOLOGIA.....	62
3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA.....	62
3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	63
3.2.1 Testes Realizados.....	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO FRECHAL DE PLÁSTICO RECICLADO.....	77
4.1.1 Propriedades físicas: massa específica e absorção de água.....	77
4.1.1.1 Massa Específica.....	77

4.1.1.2 Absorção de água.....	77
4.1.2 Propriedades mecânicas do Frechal.....	79
4.1.2.1 Resistência à tração na flexão.....	79
4.1.2.2 Resistência à compressão.....	81
4.1.2.3 Fluência em flexão.....	83
4.1.2.4 Resistência com a temperatura de 60°C.....	85
4.1.2.5 Resistência ao apoio.....	86
4.1.2.6 Módulo de elasticidade.....	88
4.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	90
5 CONCLUSÃO.....	93
5.1 RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	94
REFERÊNCIAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E O PROBLEMA DE PESQUISA

A Indústria da Construção Civil (ICC), segundo Araújo Filho (2009), é parte indissociável do desenvolvimento de um país, gerando produtos que contribuem para a produção de diversos setores econômicos e que proporcionam bem-estar e qualidade de vida à sociedade. Desta forma, esta atividade industrial produz bens imóveis de natureza variada, que podem ser classificados em dois grupos: aqueles que atendem às necessidades imediatas da sociedade, como moradia, suporte às atividades de saúde, lazer, educação, infraestrutura de transporte, energia, e aqueles que proporcionam o desempenho de funções ligadas à produção de outros bens e serviços, obras que dão suporte ao setor industrial, comercial e de prestação de serviços.

De acordo com Oliveira (1999), essa interação acentuada com outros ramos econômicos, se deve a algumas características das atividades que compõem o seu ciclo produtivo, como: heterogeneidade dos bens manufaturados que são utilizados; uso intensivo de mão de obra e até dispersão geográfica de sua produção.

Segundo o Clube dos Engenheiros Civis (CEC) (2011), a norma da ABNT NBR 8950 apresenta a ICC segmentada em categorias, a saber: Obras de Edificações; Obras Viárias; Obras Hidráulicas; Obras de Sistemas Industriais; Obras de Urbanização e Obras Diversas. A ênfase deste trabalho é em Obras de Edificações, mais especificamente na construção Habitacional.

Segundo Moretti (1993), as habitações unifamiliares, são caracterizadas por possuírem lotes levados a registro imobiliário isoladamente e participantes de empreendimentos, onde não são previstos espaços de propriedade coletiva.

A construção de uma habitação unifamiliar, de acordo com Cruz (2006), se organiza em uma divisão clássica na qual, os compartimentos se articulam e associam de modo convencional (cozinha – sala, quarto – banheiro e cozinha – zona de refeições) e que as divisões são elas próprias bastante regulares em termos de forma. Isso pode ser observado na Figura 01.



Figura 01: Plantas Baixa – Habitação Unifamiliar
Fonte: Cruz, 2006

As etapas de construção de uma habitação unifamiliar, de acordo com a CAIXA (2006), são: fundação; paredes; estrutura do telhado; acabamento; esgoto; eletricidade; pintura e por fim a construção do muro e da calçada, conforme ilustrado na Figura 02.



Figura 02: Etapas do Processo de Construção de uma Habitação Unifamiliar
Fonte: Caixa (2006).

É na etapa Estrutura do Telhado que se utiliza o Frechal. Segundo Moreira (2005), os telhados são construções destinadas a proteger as edificações da ação das intempéries. Compõem-se de: cobertura; estrutura e condutores de águas pluviais. A *cobertura* é verdadeiramente o elemento de proteção, sendo que a *estrutura* serve de apoio à mesma. As calhas e os *condutores* verticais são úteis no recolhimento das águas pluviais.

Pelo exposto tem-se, segundo o mesmo autor, que o termo estrutura de coberta, corresponde a peças que são destinadas a transferir os esforços da cobertura às vigas, lajes, pilares ou paredes. As estruturas de coberta compõem-se de tesouras e vigamentos secundários. A seguir são apresentados os componentes da Estrutura, ilustrados na Figura 03:

- **Ripa** – pequena peça de madeira, apoiadas sobre o caibro para sustentação das telhas;
- **Caibro** – peça de madeira que sustenta as ripas. Nos telhados, o caibro se assenta nas cumeeiras, nas terças e nos frechais;
- **Cumeeira** – terça da parte mais alta do telhado. Grande viga de madeira, que une os vértices da tesoura e onde se apoiam os caibros do madeiramento da cobertura. Também chamada de “espigão horizontal”;
- **Terça** – viga de madeira apoiada sobre as pernas da tesoura ou sobre paredes, para sustentação dos caibros, paralela à cumeeira e ao Frechal;
- **Tesoura** – viga em treliça plana vertical, formada de barras dispostas de madeira a compor uma rede de triângulos, tornando o sistema estrutural indeslocável;
- **Perna** – cada uma das vigas inclinadas que compõe a tesoura;
- **Linha** – viga horizontal (tensor) que, na tesoura, está sujeita aos esforços de tração;
- **Pendural ou Montante** – viga vertical no centro da tesoura, que vai da cumeeira à linha da tesoura;
- **Mão francesa, escora ou diagonal** – são peças de ligação entre a linha e a perna, encontra-se em posição oblíqua ao plano da linha.
- **Estribo** – são ferragens que garantem a união entre as peças das tesouras. Podem trabalhar à tração ou cisalhamento e;

- **Frechal** – Parte inferior do telhado, sendo assentada sobre o topo da parede, servindo de apoio à tesoura.

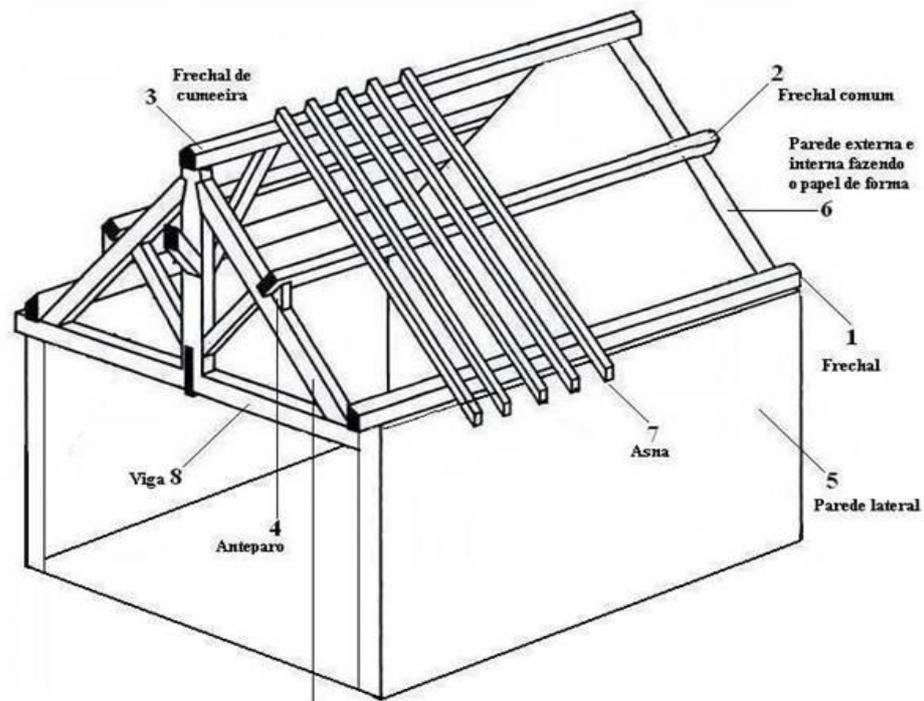


Figura 03: Ilustração da estrutura de cobertura de uma Habitação Unifamiliar
Fonte: Moreira, (2005).

Segundo Montelli (2010), o Frechal é uma peça estrutural que é colocada sobre a parede e sob a tesoura, para distribuir a carga do telhado.

Sob a ótica de Segantini (2010), o Frechal é uma viga de madeira colocada no respaldo da alvenaria, tendo como função distribuir as cargas concentradas provenientes das tesouras.

Pelo exposto considera-se, no âmbito desta pesquisa o termo Frechal como sendo uma peça estrutural importante para a estabilidade dos telhados, que pode ser aplicada acima da alvenaria e abaixo da tesoura, apresentando como principais funções distribuir as cargas concentradas do telhado e da tesoura.

O presente trabalho apresenta um protótipo de Frechal fabricado com plástico reciclado patenteado, com Patente de Invenção (PI) no Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI), número (PI 1001 520 - 5). A adoção desse material como fonte de matéria prima deve-se ao maior investimento em tecnologias para tornar os polímeros cada vez mais resistentes à corrosão, leves, indiferentes à

deterioração por decomposição e ataque de microrganismos, fácil processamento e com custo bastante reduzido de manutenção.

Além disso, a oferta de produtos cada vez mais ecológicos vem sendo alvo de solicitações tanto de mercado, como política, e legislativa, as quais estão sendo estabelecidas em prol de projetos que tenha como finalidade a harmonia da economia com o meio ambiente.

O Frechal de plástico reciclado surge como um produto alternativo, pois utiliza como insumo um material que atende às expectativas de mercado consumidor e governamental.

Os plásticos, segundo Canevarolo Jr. (2006), são constituídos basicamente por macromoléculas, formadas por unidades que se repetem dezenas a milhares de vezes, ao longo de uma cadeia, unidas por ligação covalente e secundárias. O termo polímero provém do grego *poli* (muitas) e *mero* (unidades repetitivas), significando dessa forma muitas unidades repetitivas. Além disso, o autor elenca os polímeros classificados quanto à sua característica química conforme a Tabela 01.

Tabela 01: Classificação dos polímeros

CLASSIFICAÇÃO	TERMO	CARACTERÍSTICA	EXEMPLO
ESTRUTURA QUÍMICA	Polímeros de cadeia carbônica	Apresenta a cadeia principal formada pelo carbono	Poliiolefinas (PEAD, PEBD, PP), polímeros estirênicos (OS, SBR), polímeros clorados (PVC, PVDC).
	Polímeros de cadeia heterogênea	Cadeia principal possui além do carbono, outro átomo (heteroatomo)	Poliéteres (POM), poliésteres (PET), policarbonato, poliuretanos.

Fonte: Canevarolo Jr. (2006).

Além disso, Crawford (1987) Pringle e Barker (2000) classificam os polímeros em relação ao seu comportamento termomecânico, nas seguintes categorias:

1. *Termoplástico* - o seu aquecimento provoca o enfraquecimento das forças intermoleculares, tornando-os flexíveis; quando resfriado, o material enrijece novamente. Esse ciclo de aquecimento e resfriamento pode ser repetido indefinidamente, sendo essa a maior de suas vantagens; e

2. *Termofixos* - devido a seu processo de fabricação e moldagem, os termofixos são os plásticos que não podem ser amolecidos e moldados novamente. Quando aquecidos, esses materiais queimam e se degradam.

O descarte dos plásticos é um problema ambiental sério, isto pode ser observado no Gráfico 01, que apresenta a distribuição do percentual dos plásticos descartados pela sociedade.

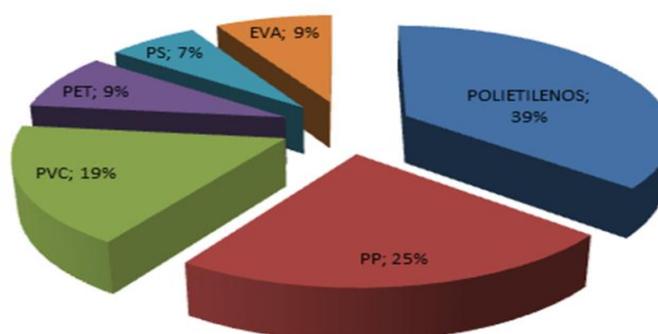


Gráfico 01: Distribuição percentual dos plásticos descartados pela sociedade.

Fonte: ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química), 2010.

Observa-se que os polietilenos pertencentes à família dos termoplásticos são os que apresentam maior descarte. Estes polímeros correspondem à categoria dos plásticos adotados para a fabricação do Frechal. Esta escolha deve-se por sua grande oferta no mercado e também por suas propriedades físicas que permite seu reuso muitas vezes ao longo do tempo.

A NBR 15792 (2012) define o termo Reciclagem como sendo um reprocessamento, em um novo processo de produção, dos resíduos de materiais. O processo de reciclagem, corresponde à conversão de embalagens pós-consumo e/ou aparas de processo industrial, separadas e coletadas, em um produto ou matéria-prima secundária. De acordo com Parente (2006), o processo de reciclagem pode ser dividido nas seguintes etapas:

- *Coleta*: coleta e armazenamento do resíduo a ser reaproveitado;
- *Separação ou triagem*: separação por tipos de material (papel, plásticos, madeiras, metais etc.). No caso dos plásticos, deve ser feita a triagem por tipo de plástico (PVC, polietileno, polipropileno etc.);

- *Revalorização*: etapa intermediária que prepara o material coletado e separado para a comercialização e/ou etapa de transformação e;
- *Transformação*: processamento do material para a geração de novos materiais ou produtos, agregando-lhes valor.

De acordo com Guia Ambiental da Indústria de Transformação e Reciclagem de Materiais Plásticos (2011), as vantagens do processo de reciclagem de plásticos faz com que ocorra a redução destes em aterros sanitários, minimizando o problema da falta de espaço, principalmente nas grandes cidades, com reflexos positivos sobre os aspectos ambientais da cadeia. Ao voltar para o ciclo produtivo, este material gera economia de recursos naturais, de energia elétrica e de água, consumidos na produção de materiais virgens.

Além disso, de acordo com o Instituto Socioambiental dos Plásticos (PLASTIVIDA), pode-se classificar a reciclagem em três tipos:

1. **Reciclagem Química** - neste processo os plásticos são transformados em petroquímicos básicos: monômeros ou misturas de hidrocarbonetos que servem como matéria-prima, em refinarias ou centrais petroquímicas, para a obtenção de produtos nobres de elevada qualidade;
2. **Reciclagem Energética** – é o processo que aproveita o resíduo plástico para a geração de energia através de processos térmicos. Para efeito de comparação, pode-se afirmar que 1 kg de plástico possui uma capacidade de gerar energia equivalente à contida em 1 kg de óleo combustível e;
3. **Reciclagem Mecânica** - é o tipo de reciclagem mais difundido e utilizado. Consiste na conversão dos resíduos plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos, como sacos de lixo, solados, pisos, conduítes, mangueiras, componentes de automóveis, fibras, embalagens, dentre outros.

O modelo de reciclagem utilizado na fabricação do Frechal corresponde à Reciclagem Mecânica, pois dentre as características apresentadas, esta é a que permite a reutilização de resíduos plásticos como matéria prima, pela qual possibilitará a concepção dessa peça estrutural. A Figura 04 apresenta o fluxograma deste processo de reciclagem:

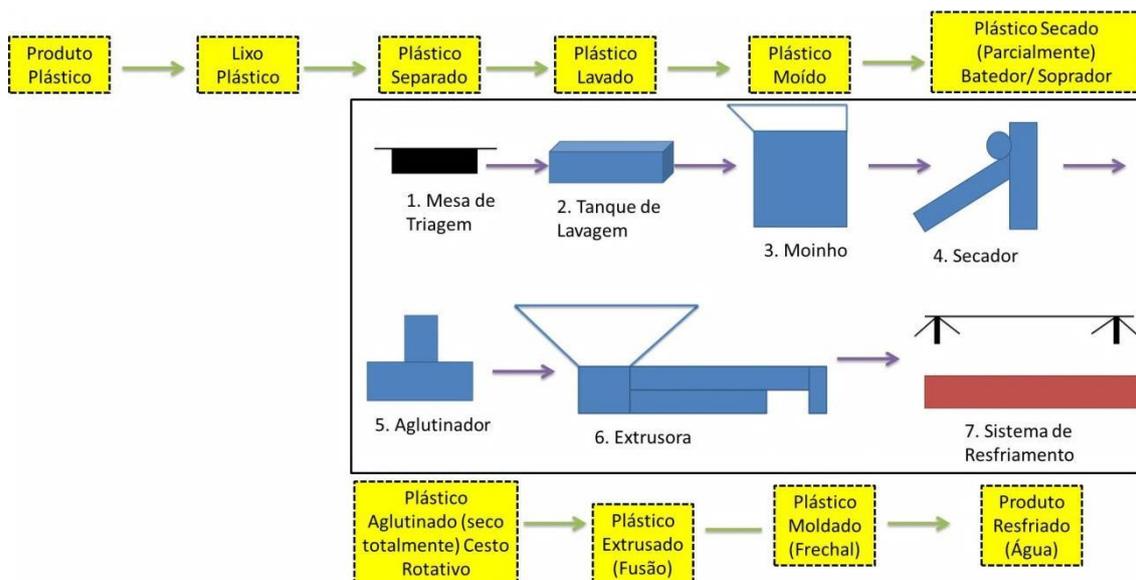


Figura 04: Fluxograma de Reciclagem Mecânica para fabricação do Frechal de plástico

Para auxiliar na identificação dos plásticos no trabalho de reciclagem (triagem) a NBR 13230 (Reciclabilidade e identificação de materiais plásticos), disponibiliza um sistema de códigos que variam de 1 a 7. A Tabela 02 apresenta esses códigos.

Tabela 02: Classificação dos plásticos para reciclagem

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	PET – politereftalato de etileno		PP – polipropileno
	PEAD – polietileno de alta densidade		PS – poliestireno
	PVC – policloreto de vinila		Outros
	PEBD – polietileno de baixa densidade		

Fonte: ABNT, NBR 13230:2008.

O sistema de códigos expostos na Tabela 02 impulsiona o controle de qualidade na linha de separação de materiais plásticos nos recicladores, assegurando que o plástico reciclado seja o mais homogêneo possível, com a finalidade de facilitar o processo de reciclagem.

Segundo os tipos de reciclagem apresentados tem-se que para a fabricação o Frechal adota-se o processo de reciclagem mecânica, através disso, faz-se necessário a realização de ensaios na peça para verificar se a mesma corrobora com as características técnicas necessárias para a sua aplicação. De acordo com

Consenza (2006), antes de se investir em um projeto é preciso ter comprovada a sua viabilidade técnica.

Viabilidade técnica, segundo Vasconcelos (2011), é uma verificação da praticidade de uma solução técnica específica e a disponibilidade dos recursos técnicos e dos especialistas.

Lida (2000) considera que, viabilidade técnica concerne em verificar se o produto abrange as características físicas, mecânicas e elétricas, como por exemplo: potência, gasto energético, resistências a choques, resistências à corrosão, para assim corroborar com as qualidades técnicas necessárias ao seu funcionamento. Em relação aos aspectos técnicos, as duas qualidades mais valorizadas pelos usuários são a eficiência e a durabilidade, ou seja, o produto deve exercer bem a sua função, com um mínimo de consumo de energia, e deve apresentar durabilidade e confiabilidade no funcionamento. Isso significa que um bom produto, do ponto de vista técnico, é o que funciona por longo tempo sem apresentar defeitos e nem consumir energia em excesso.

Sob a ótica de Slack (2009), viabilidade técnica é o meio pelo qual se verifica se um produto é o que deve ser ou o que se declarou ser, através de testes, simulando sob condições reais de operação, levando em conta o seu desempenho técnico e o desempenho de mercado. Além disso, esses testes servem para averiguar o desempenho alcançado do mesmo, além de sua funcionalidade, com a finalidade de realizar alterações se necessário antes da liberação do produto.

Este trabalho considera, à luz das informações explanadas pelos referidos autores, viabilidade técnica como sendo a verificação de um produto alternativo possuir características técnicas exigidas para a sua aplicabilidade. Em vista do exposto, a questão que norteou esta pesquisa foi:

TECNICAMENTE O FRECHAL DE PLÁSTICO RECICLADO É VIÁVEL PARA SER UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DAS HABITAÇÕES UNIFAMILIARES?

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O Frechal é uma peça estrutural comumente fabricada de madeira, principalmente de “madeira dura” (dicotiledôneas). Todavia inerente à adoção do Frechal de madeira nas construções de habitações unifamiliares estão algumas

desvantagens como: gasto com manutenção, vulnerabilidade frente às mudanças climáticas, desperdícios, dimensão padrão (leva a utilização de emendas no processo construtivo ocasionando acidentes de trabalho, devido à utilização da ferramenta enxó), além do seu impacto negativo frente ao meio ambiente (desmatamento e queima), entre outras (GESUALDO, 2003).

Foi através do cenário exposto, que surgiu a ideia de se fabricar um novo produto patenteado (PI 1001 520 - 5), o qual tem como proposta de aplicabilidade substituir a madeira na fabricação do Frechal.

Este novo produto, fabricado a partir do plástico reciclado, principalmente os da categoria termoplástico, devido ao seu processo de produção (extrusão), irá permitir as dimensões demandadas pelo projeto de construção de habitações. A adoção desta peça estrutural tende a diminuir cada vez mais a demanda por peças de madeira, provocando assim a redução do desmatamento e como a sua principal fonte de matéria prima é o plástico reciclado, irá provocar a redução dos lixos plásticos descartados nos lixões, aterros sanitários, rios e mares, contribuindo assim para um país mais limpo, evitando que os animais marinhos alimentem-se de plásticos.

Além disso, o Frechal de plástico reciclado apresenta algumas vantagens como: bom acabamento; facilidade de corte; dispensa o uso de lixa; facilidade de estocagem, não apresenta pó e farpas – elementos identificados com o uso da madeira e que tornam o ambiente de trabalho, até certo nível, insalubre; não irá sofrer com ataques de cupins, tem maior resistência à ação da água (evitando problemas de apodrecimento) e se constitui em um produto ecologicamente correto.

No entanto, antes de lançar este novo produto no mercado, deve-se verificar sua viabilidade técnica, ou seja, verificar se o produto possui as características físicas e mecânicas necessárias para o seu funcionamento. Esta verificação de viabilidade técnica ocorre por meio de ensaios realizados em corpos de prova que servem para averiguar o seu desempenho.

O termo viabilidade técnica é analisado sob a ênfase referencial do Desenvolvimento do Projeto de Novos Produtos, pelo qual corresponde a toda busca pelo melhor produto, com características que supram as necessidades do mercado, bem como todas as atividades que são necessárias para tal.

É justamente através desta verificação que se define os requisitos que o novo produto deve atender, ou seja, as premissas de sua funcionalidade ou como o

usuário deverá interagir com este, limitações referentes à relação massa-volume, dimensões, capacidades físico-mecânicas, etc.

Portanto, a verificação da viabilidade técnica do Frechal se faz relevante devido à característica de segurança que esta peça deve apresentar, pois é parte integrante do processo construtivo das habitações unifamiliares.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade técnica do Frechal de plástico reciclado para ser utilizado na construção de habitações unifamiliares.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Obter as características físicas:
 - *Massa específica;*
 - *Absorção de água;*

- 2) Obter as características mecânicas do Frechal.
 - *Resistência à compressão.*
 - *Resistência à tração na flexão e;*
 - *Módulo de elasticidade.*

- 3) Realizar testes em laboratório no Frechal verificando as condições de serviço.
 - Resistência ao apoio de peça de madeira.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está desenvolvida ao longo de cinco capítulos.

O primeiro capítulo, já apresentado, trata do problema a ser pesquisado, da justificativa, relevância do estudo e descreve os objetos pretendidos.

A fundamentação teórica que dá suporte ao trabalho é apresentada no segundo capítulo. Este capítulo está dividido em três partes: habitações unifamiliares, o material plástico e viabilidade técnica dentro do processo de desenvolvimento de novos produtos.

O conteúdo do terceiro capítulo apresenta a metodologia, que foi adotada no desenvolvimento da pesquisa e descreve onde e como esta metodologia foi implementada.

O quarto capítulo traz os resultados obtidos e a análise destes.

Finalmente, o capítulo cinco contém as considerações finais e conclusivas a respeito do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HABITAÇÕES UNIFAMILIARES

De acordo com Botelho (2009), as edificações residenciais destinam-se à habitação permanente de uma ou mais famílias e poderão ser: *Apartamentos* - habitações multifamiliares residenciais correspondendo a mais de uma unidade por edificação; e *Casas* - habitações unifamiliares residenciais correspondendo a uma unidade por edificação.

As habitações unifamiliares são compostas, pela infraestrutura (as fundações); pela estrutura (paredes estruturais ou pilares e vigas); e pela cobertura (MANUAL DE CONSERVAÇÃO DE TELHADOS, 1999).

Para ênfase deste trabalho, considera-se como etapa importante do processo construtivo habitacional a “cobertura” que, segundo Oliveira (2000), é uma estrutura que tem múltiplas funções, dentre elas: proteger a construção contra agentes externos, definir o aspecto arquitetônico e garantir o escoamento das águas de chuva. A cobertura é composta por três elementos, a saber: estrutura do telhado; cobertura do telhado e sistema de captação de águas pluviais.

2.1.1 Estrutura do Telhado

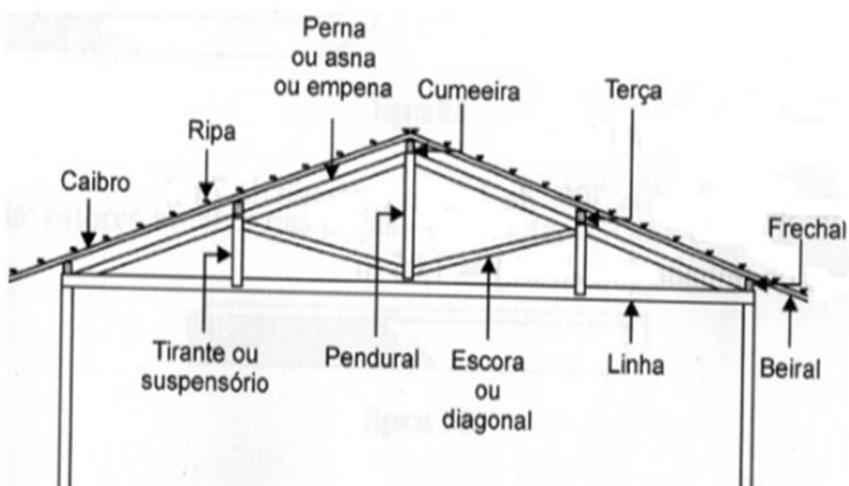
De acordo com Salgado (2009), a estrutura do telhado é composta de um sistema treliçado destinado a suportar todo o carregamento da cobertura, além dos esforços provenientes das ações das intempéries, como variação de temperatura, chuva, vento e neve. A Tabela 03 apresenta a nomenclatura das peças estruturais da cobertura.

Tabela 03: Nomenclatura das peças estruturais da cobertura

PEÇA	FUNÇÃO
Tesoura	Estrutura autoportante constituída de diversas peças formando uma estrutura treliçada com a finalidade de suportar toda a carga de um telhado;
Frechal	Nome dado à primeira terça da tesoura, a qual se apoia na parede;
Cumeeira	Linha mais alta de um telhado;
Linha	Peça de alinhamento da tesoura que recebe todos os esforços da tesoura e pela qual é transmitida a estrutura principal da obra;
Perna	Suporta as terças e dá inclinação à estrutura conforme o tipo de telha utilizado;
Pendural	Elemento vertical de distribuição das cargas de um telhado;
Escora	Elemento oblíquo de distribuição das cargas de um telhado;
Empena	O mesmo que Perna;
Terça	Peça localizada entre o Frechal e a cumeeira que tem a finalidade de travar as tesouras e suportar a estrutura de caibros;
Empeno	Parte da alvenaria de elevação que acompanha o caimento de um telhado;
Beiral	Parte da estrutura do telhado que se projeta além da alvenaria externa;
Tirante	Peça em diagonal destinada ao travamento, absorvendo os esforços de tração da tesoura.
Caibro	Peças de apoio para as ripas, pregadas sobre as terças;
Chapuz	Calço que serve de apoio lateral para a terça;
Ripa	Peças de apoio das telhas, pregadas sobre os caibros.

Fonte: Salgado (2009).

Algumas peças estruturais apresentadas na Tabela 03 podem ser melhor visualizadas na Figura 05.

**Figura 05:** Peças estruturais da cobertura

Fonte: Salgado (2009).

Moreira (2005) afirma que toda estrutura do telhado deve ter uma inclinação, e que esta corresponde ao ângulo formado pelos planos das coberturas com o horizonte. A inclinação do telhado é determinada, segundo Salgado (2009), pelo “Ponto do Telhado” que corresponde à altura da cumeeira, ou seja, é o ponto mais alto do telhado. Para cálculo desse ponto é necessário saber o vão a ser vencido e o grau de inclinação – ou porcentagem de inclinação – da telha a ser utilizada. Assim, a inclinação do telhado é dada pela Equação (1).

$$I (\%) = \frac{h}{A} \times 100 \quad (1)$$

Em que: I = inclinação; h = distância entre o empeno e a cumeeira; e A = desnível entre o beiral e a cumeeira (Figura 06).

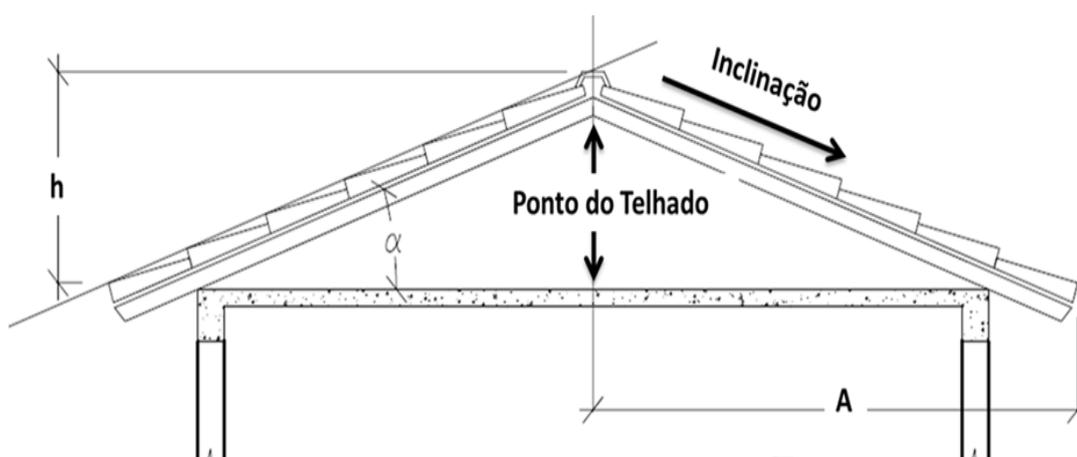


Figura 06: Inclinação do Telhado para telhas cerâmicas
Fonte: Salgado (2009).

Finalizada a etapa acima citada, tem-se de acordo com Cardoso (2000), o momento de executar, a estrutura de apoio e a trama. Segundo Rodrigues (2000), os componentes desta estrutura são: ripas; caibros; terças; cumeeira; Frechal e o chapuz. Pela ótica de Araújo (2003), a trama é a estrutura que serve de lastro (sustenta e fixa) ao material da cobertura.

Para telhas de pequenas dimensões (telhas cerâmicas e de concreto) a trama é constituída por caibros e ripas. Basicamente a estrutura do telhado pode ser visualizada na Figura 07.

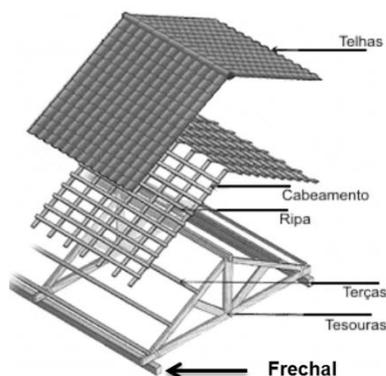


Figura 07: Estrutura do telhado
Fonte: Rodrigues (2000).

Além da existência do Frechal nesta etapa, fazem parte também as terças, as cumeeiras, os contra frechais, os caibros e as ripas. O contra-frechal tem a função de apoiar a extremidade inferior dos caibros, se localizando no ponto mais próximo ao beiral. Estas duas peças também têm, geralmente seu comprimento na ordem de 3 metros (equivalente ao comprimento das terças), para evitar grandes esforços de flexão (ALBUQUERQUE, 2006).

Sob a ótica da mesma autora, os frechais são peças que servem de vigas, a função destas peças é apoiar a estrutura da cobertura na estrutura da edificação, distribuindo uniformemente o carregamento daquela sobre a estrutura desta. Além disso, esta peça estrutural é assentada sobre as paredes em todo o perímetro da edificação. Serve para apoiar o banzo inferior¹ ou receber os banzos superiores² e distribuir uniformemente sobre as paredes as cargas.

A Tabela 04 apresenta as medidas das peças estruturais de um telhado para suportar telhas cerâmicas (SALGADO, 2009).

¹ **Banzo Inferior ou Linha** – nas tesouras é a viga horizontal sujeita a esforços de tração (sob condições normais de carregamento). E apoia os banzos superiores (ALBUQUERQUE, 2006).

² **Banzo Superior ou Perna** – pela inclinada apoiada diretamente no Frechal e no banzo inferior, sujeito a esforços de compressão (sob condições normais de carregamento). Recebe as terças e transmite os esforços da cobertura para as extremidades da tesoura e cumeeiras (ALBUQUERQUE, 2006).

Tabela 04: Medidas das peças estruturais do telhado

Peças	Medidas usuais (m)	Seção das peças (cm)
Tesouras	3 a 3,50	5 x 11 a 6 x 16
Terças – Cumeeira – Terça-Frechal	1,50 a 1,80	5 x 11 a 6 x 16
Caibros	0,50 a 0,60	5 x 5 a 6 x 7
Ripas	Conforme o comprimento da telha	1,5 x 5 ou 2,5 x 5

Fonte: Salgado (2009).

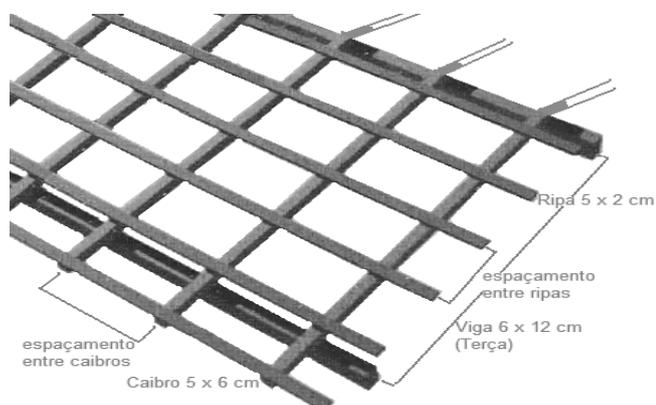
De acordo com Araújo (2003), a madeira é o material mais adotado em estruturas convencionais de telhado, em especial em telhados de habitações residenciais. Através disso, Cardoso (2000) apresenta na Tabela 05, os afastamentos necessários para o caso da estrutura de madeira em “Peroba”.

Tabela 05: Afastamento dos caibros, terças e tesouras

Tipo	TELHA		ESTRUTURA DE MADEIRA (PEROBA)		
	Massa (kg)	Galga (cm)	Ripas (5 x 2 cm) Distância entre ripas (cm)	Caibros (5 x 6 cm) Distância entre caibros (cm)	Terças (6 x 12 ou 6 x 16 cm) Distância entre tesouras ou apoios (cm)
Francesa	2,60	34,0	34,0	50 a 60 cm	**
Romana	2,60	36,0	36,0	Idem	**
Colonial	2,25	40,0	40,0	Idem	**
Plan	2,28	40,0	40,0	Idem	**

Fonte: Cardoso (2000).

15. Este espaçamento proposto na tabela 08 pode ser ilustrado através da figura

**Figura 08:** Espaçamento entre as peças do telhado

Fonte: <http://www.jmveronezi.com.br/madeiramento_para_telhado.html>.

Segundo Albuquerque (2006), o correto funcionamento da estrutura dos telhados depende da execução de ligações. As ligações adequadas têm por finalidade a transmissão e distribuição correta dos esforços entre as peças a serem ligadas. Em relação à ligação da estrutura do telhado com a alvenaria, Cardoso (2000) indica que há os seguintes tipos de amarração: barras, braçadeiras, cantoneiras ou chapas de aço, conforme indicado na Figura 09.

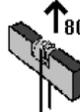
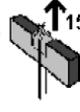
		Materiais	Amarração	Carga média de ruptura	Deformação máxima	
Tipo I		Viga de madeira em canto vivo	Aço CA 60 φ5 mm	Dobrados e pregados (pregos ou grampos)	150 N	8,5 mm
Tipo II		Viga de madeira em canto vivo	Aço CA 60 φ5 mm	Dobrados e torcidos	150 N	9,5 mm
Tipo III		Viga de madeira em canto boleado	Aço CA 60 φ5 mm	Dobrados e pregados (pregos ou grampos)	80 N	8,5 mm
Tipo IV		Viga de madeira em canto boleado	Aço CA 60 φ5 mm	Dobrados e torcidos	150 N	4,8 mm
Tipo V		Viga de madeira em canto vivo	Aço SAE 1010/20 3x32 mm	2 parafusos 6,3x51 mm	125 N	3,8 mm

Figura 09: Tipos de amarração de madeira
Fonte: Araújo (2003).

Além das amarrações necessárias ao processo de ligação entre a estrutura do telhado e a de alvenaria tem-se, segundo Araújo (2003), que estas ligações também podem ser feita pelos elementos de ancoragem. Estes elementos são necessários quando os esforços de arranchamento da estrutura do telhado são maiores, exigindo a execução de dispositivos de fixação das tesouras mais criteriosa. Na Figura 10 são mostrados sete tipos de ancoragem mais comuns e seus respectivos desempenhos (carga média de ruptura).

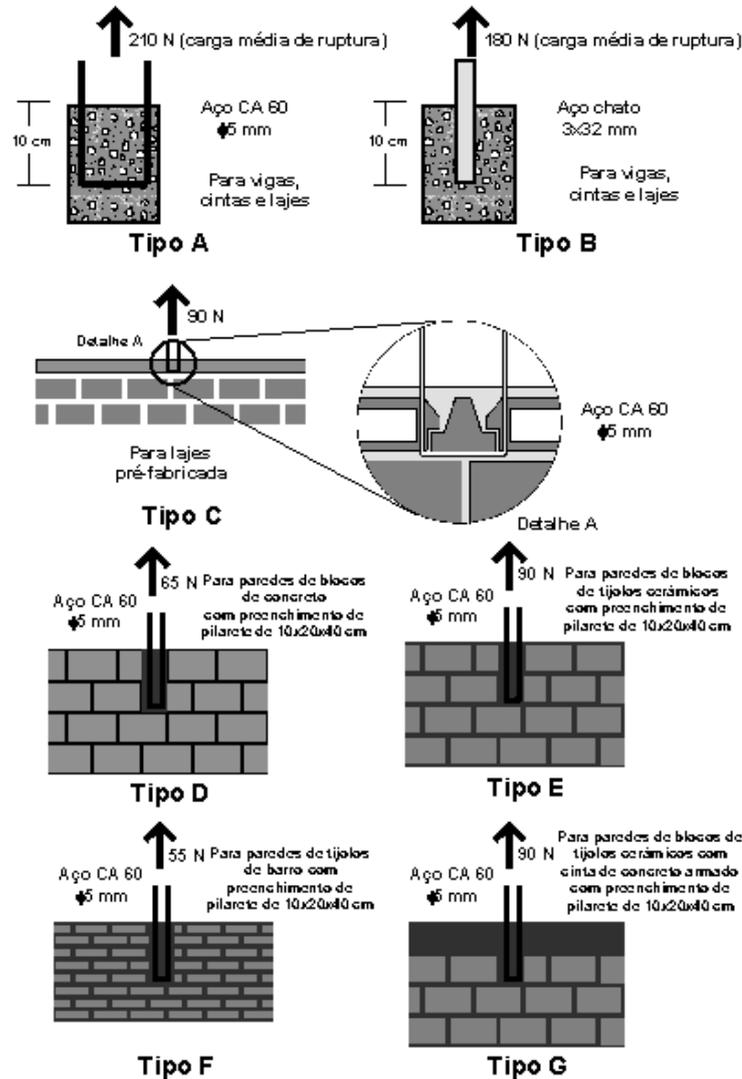


Figura 10: Tipos de ancoragem
Fonte: Araújo (2003).

De acordo com CEA (2009), caso se utilize um material não convencional na construção da cobertura do telhado, deve-se verificar se o mesmo apresenta características físicas e mecânicas que satisfaçam sua aplicação.

Essas características corroboram a visão de Baêta (1999), o qual indica que o projeto da estrutura de qualquer edificação, máquina ou outro elemento é um estudo através do qual a estrutura tenha resistência suficiente para suportar os esforços a que são submetidas em condições reais de uso. Este processo envolve a análise de tensões das partes componentes da estrutura, considerações a respeito das propriedades mecânicas dos materiais, determinação dos esforços e as deformações da estrutura quando a mesma é solicitada por agentes externos (cargas, variações térmicas, movimentos de seus apoios, etc.).

2.1.1.1 Tensão, Resistência, Coeficiente de Segurança e Variações de Comprimento Devido às Variações de Temperatura

2.1.1.1.1 Tensão

Segundo Rodrigues (2006), a tensão descreve a intensidade de uma força sobre um plano específico (área) que passa por determinado ponto. As unidades de tensões são: unidade de força por unidade de área ($N/m^2 = Pa$; kgf/cm^2 ; kgf/mm^2). Além disso, sabe-se que a tensão se divide em dois tipos:

- 1) Tensões normais: atuam na direção perpendicular à seção transversal da peça, e podem ser: tensão de compressão, $\sigma_c (-)$ ou tensão de tração, $\sigma_t (+)$; e
- 2) Tensões cisalhantes ou de corte (τ): que atuam tangencialmente à seção transversal.

2.1.1.1.2 Resistência

Corresponde à maior tensão aplicada ao elemento que provoca a desagregação do material que o compõe, ou seja, a resistência de um material é sua capacidade de receber tensões (ISAIA, 2005). As resistências podem ser dos seguintes tipos:

- a) Resistência à tração: corresponde à máxima tensão suportada por um material no ensaio de tração. Verificam-se em tirantes, hastes de treliças, pendurais, armaduras de concreto armado, etc. A Figura 11 apresenta a direção das forças no processo de resistência à tração ($RT = \frac{P_{MAX\ TRAC\tilde{A}O}}{A_N}$) (BENTO, 2003).



Figura 17: Resistência à tração
Fonte: Baêta (1999).

- b) Resistência à compressão: é a tensão máxima alcançada por um material antes de seu rompimento quando é submetido a um esforço de compressão. A Figura 12 apresenta a direção das forças no processo de resistência à compressão.



Figura 12: Resistência à compressão
Fonte: Baêta (1999).

- c) Resistência ao cisalhamento ou corte: é a tensão máxima sofrida pelo material antes do seu rompimento quando submetido a um esforço transversal. A Figura 13 apresenta a direção das forças no processo de resistência a cisalhamento ou corte.

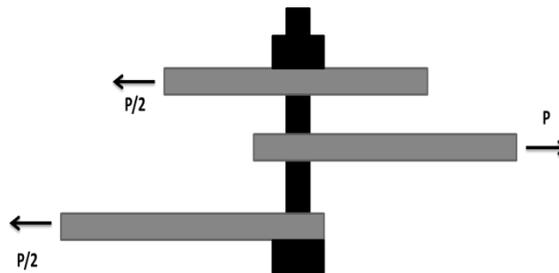


Figura 13: Resistência ao cisalhamento ou corte
Fonte: Baêta (1999)

- d) Resistência à flexão: Representa a tensão máxima desenvolvida na superfície de uma barra quando sujeita a carregamento transversal. Verificam-se em frechais, vigas, postes engastados, etc. A Figura 14 apresenta a direção das forças no processo de resistência à flexão.

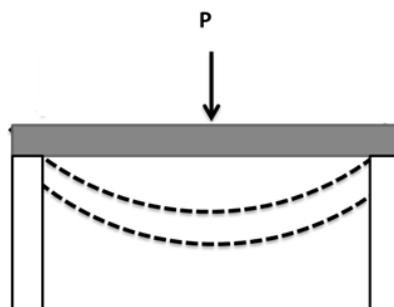


Figura 14: Resistência à flexão
Fonte: Baêta (1999).

- e) Resistência à flambagem: a capacidade de um material resistir a uma deformação quando submetido a um esforço de compressão axial atuante resultante de um esforço de compressão axial. Verifica-se nos elementos estruturais solicitados à compressão e que apresentam seção transversal com dimensões reduzidas quando comparadas com o comprimento. Por exemplo: colunas, escoras, pilares, hastes e outros elementos estruturais com cargas de compressão atuando paralelamente ao eixo longitudinal da peça. A Figura 15 apresenta a direção das forças no processo de resistência à flambagem.

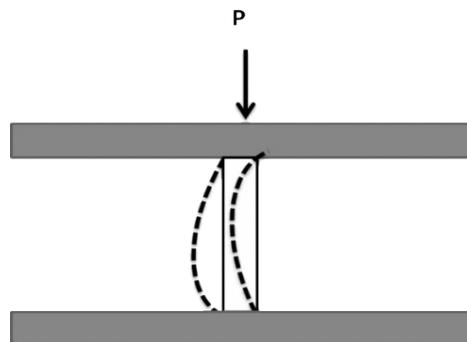


Figura 15: Resistência à flambagem
Fonte: Baêta (1999).

- f) Resistência à torção: ocorre com menor frequência em elementos de construção. A torção produz um deslocamento angular de uma seção transversal em relação à outra. A resistência à torção está relacionada à resistência ao cisalhamento. Verifica-se em vigas com cargas excêntricas, vigas curvas, eixos, parafusos, etc.
- g) Resistência composta: verifica-se em elementos estruturais que são submetidos simultaneamente por diversos tipos de ações (Figura 16).

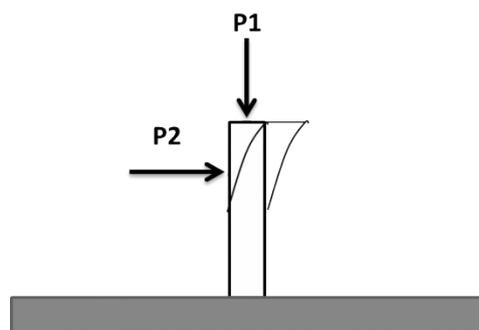


Figura 16: Resistência composta
Fonte: Baêta (1999).

2.1.1.1.3 Coeficiente de Segurança e Tensão Admissível

Nas aplicações práticas dos diferentes tipos de peças que são adotadas para a construção de habitações, deve-se ter o pré-conhecimento das tensões máximas ou de ruptura que estas peças suportam. Este conhecimento serve para prevenir o aparecimento de deformações excessivamente grandes ou, até mesmo, o rompimento do elemento estrutural (BAÊTA, 1999).

Essa característica se faz relevante, pois como o mercado não oferece medidas flexíveis surge a necessidade de se fazer emendas para ligação das diferentes peças componentes da tesoura. No caso da ligação linha versus perna, é necessária esta preocupação para evitar que a linha possa fletir no trecho aplicado.

De acordo com Baêta (1999) a tensão admissível é dada pela Equação (4):

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_r}{V} \quad (3)$$

Onde: σ_{adm} tensão admissível; σ_r tensão de ruptura ou resistência; e V coeficiente de segurança.

Considera-se que o coeficiente de segurança depende dos seguintes fatores: consistência da qualidade do material; durabilidade do material; comportamento elástico do material; espécie de carga e de solicitação; tipo de estrutura e importância dos elementos estruturais; precisão na avaliação dos esforços e seus modos de atuarem sobre os elementos construtivos; e qualidade da mão-de-obra e controle da qualidade dos serviços (BAÊTA, 1999).

Além disso, existem indícios de que nas últimas décadas progressos vêm ocorrendo na indústria da construção civil, como: o aprimoramento da qualidade dos materiais e o controle de execução de obras cada vez mais efetiva, permitindo a redução constante dos coeficientes de segurança.

No âmbito das tensões admissíveis são apresentadas (Tabela 06), algumas que são comumente utilizadas em relação às propriedades mecânicas das madeiras que são adotadas na estrutura do telhado.

Tabela 06: Propriedades mecânicas e tensões admissíveis de algumas madeiras

Madeiras		Peso específico (a 15% de umidade)	Módulo de elasticidade E_m (flexão)	Tensões admissíveis (peças de 2ª categoria) kg/cm^2				
Nomes (vulgares)	Nomes (científicos)			Compressão	Flexão e tração	Cisalhamento		
		kgf/m^3	MPa kgf/cm^2	$\parallel \sigma_c$	Calor em MPa $\pm \sigma_c$		Ligações	Vigas
Maçaranduba	Manikara	1200	18300	130	39	220	25	17
Ipê tabaco ou Ipê amarelo	Tecoma eximia	1030	15380	124	37	219	10	13
Eucalipto citriodora	Eucalyptus citriodora	1000	13600	100	30	170	22	15
Ipê roxo ou Ipê preto	Tecoma lipetiginosa	960	16500	138	41	231	22	14
Gonçalo Alves ou Guanta	Astronium fraxinifolium	910	14100	126	38	1881	28	19
Canafístula	Cassia ferruginea	870	12240	115	35	154	19	13
Andiroba	Carapa guianensis	720	11600	75	22	120	15	10
Peroba de campos ou Ipê peroba	Paralecoma peroba	720	11960	93	28	148	18	12
Pinho do Paraná ou Pinho Brasileiro	Araucaria angustifolia	540	10523	51	15	87	9	6

Fonte: Baêta (1999).

Modernamente já não se faz as propriedades com base nas tensões admissíveis. Elas aqui constam apenas para dar ideia da resistência de diferentes madeiras.

Estas características técnicas apresentadas na tabela 06 se tornam relevantes, pois a construção da estrutura das habitações unifamiliares é realizada com a adoção da madeira como fonte de fabricação das peças estruturais do telhado. Através dos dados verificam-se extremas diferenças técnicas, corroborando a diversidade das espécies nativas. A Peroba segundo Araújo (2003), é a espécie mais utilizada na estrutura do telhado.

2.1.1.1.4 Variações de comprimento devido às variações de temperatura

Segundo Baêta (1999), o aquecimento das estruturas causa dilatação das mesmas, enquanto o arrefecimento causa contração, estas deformações podem causar tensões internas nos materiais dos elementos estruturais. A dilatação ou compressão das peças estruturais podem ser calculadas pela Equação (5):

$$\Delta L = \pm \alpha_t \cdot \Delta_t \cdot L \quad (4)$$

Onde: L = comprimento do elemento estrutural; Δ_t = variação de temperatura do elemento estrutural, e α_t = coeficiente de dilatação térmica.

Tem-se, então que o coeficiente de dilatação térmica indica a variação de comprimento do elemento estrutural para cada 1°C de mudança de temperatura do mesmo. Alguns valores aproximados de α_t podem ser visualizados na Tabela 07.

Tabela 07: Coeficiente de dilatação dos materiais

MATERIAL	DILATAÇÃO
Aço	0,000012 °C ⁻¹
Ferro fundido e concreto	0,000010 °C ⁻¹
Alvenaria de tijolo	0,000005 °C ⁻¹
Madeira	0,000003 °C ⁻¹

Fonte: Baêta (1999).

2.1.2 Cobertura do Telhado

A etapa de cobertura do telhado refere-se justamente ao tipo de telha que será adotada no processo de construção habitacional. Porém, antes de decidir por um ou outro modelo, é importante não só considerar o aspecto estético, mas também o funcional, pois as telhas têm a função de proteger também toda a estrutura da obra e precisa ser apropriada ao projeto. A esse respeito, Moreira (2005) apresenta a Tabela 08 que contém vários tipos de telhas disponíveis no mercado, com os respectivos dados técnicos.

Tabela 08: Tipos de telhas

Amostra	Cores	Características	Rendimento por m ²	Peso por m ²	Inclinação
 Francesa	Vermelha; Branca e de Vidro	Telha cerâmica natural plana com duas cavidades na longitudinal fazendo a função de canal	16 peças	44 Kg	25 a 44%
 Paulista	Vermelha e de Vidro	Telha cerâmica natural com capa e canal separados, curvos e diferentes entre si.	28 peças	57 Kg	15 a 29%
 Americana	Vermelha, Branca e de Vidro	Telha cerâmica natural com capa e com canal separados, diferentes entre si e linhas predominantes retas.	26 peças	42 Kg	15 a 29%
 Romana	Vermelha, Esmaltadas e de Vidro	Telha cerâmica natural com capa e canal retos conjugados	16 peças	42 Kg	15 a 29%
 Portuguesa ou Colmar	Vermelha, Branca, Pêssego, Mediterrânea e Esmaltadas	Telha cerâmica com capa em curva e canal reto conjugados.	16 peças	42 Kg	15 a 29%
 Americana	Vermelha, Branca e Esmaltadas	Telhas cerâmicas natural com capa curva e canal em linha reta, conjugados com semelhança em relação a telha portuguesa, mudando suas dimensões e curvatura	12 peças	38 Kg	30%
 Fibrocimento Ondulada	Branca e Cinza	Telha ondulada de fibrocimento	Variável	-	15 %

Fonte: Moreira (2005).

Assim como pôde ser observado na Tabela 08, verifica-se a existência de várias opções de telhas para a cobertura do telhado, devendo a adoção das mesmas ser apropriada ao projeto. Por exemplo, se o telhado apresentar grande inclinação, opta-se por telhas que já tenham saliências para os furos de armação, a fim de assegurar total rigidez ao telhado; no entanto se o projeto indica que o interior do ambiente deve estar mais iluminado - escolhem-se alguns segmentos de telhas de vidro.

Além dos tipos de telhas para cobertura do telhado, consideram-se ainda nesta etapa, os tipos de superfícies que a habitação pode apresentar. Segundo Moreira (2005), as coberturas são constituídas por uma ou mais superfícies que podem ser planas, curvas ou mistas. Estas superfícies são denominadas “água”, e conforme o seu número, tem-se o telhado de uma água (alpendres ou meia-água), de duas águas, de quatro águas, entre outros. Corroborando com isto, Araújo (2003), considera que as superfícies do telhado são classificadas nas seguintes formas:

- Uma água (meia água – Figura 17): caracterizada por um só plano, com declividade, cobrindo uma área edificada pequena ou estendendo-se para proteger entradas (alpendre);

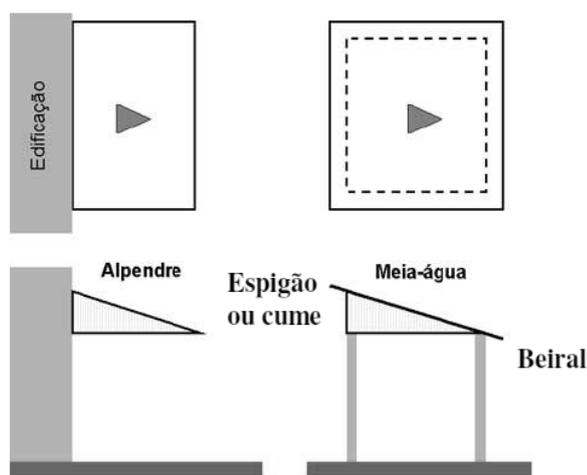


Figura 17: Superfície do telhado de uma água
Fonte: Albuquerque (2006).

- Duas águas (Figura 18): caracterizada por dois planos, com declividades iguais ou diferentes, unidas por uma linha central, denominada cumeeira, ou distanciadas por uma elevação. O fechamento da frente e do fundo é feito com empenas ou oitões;

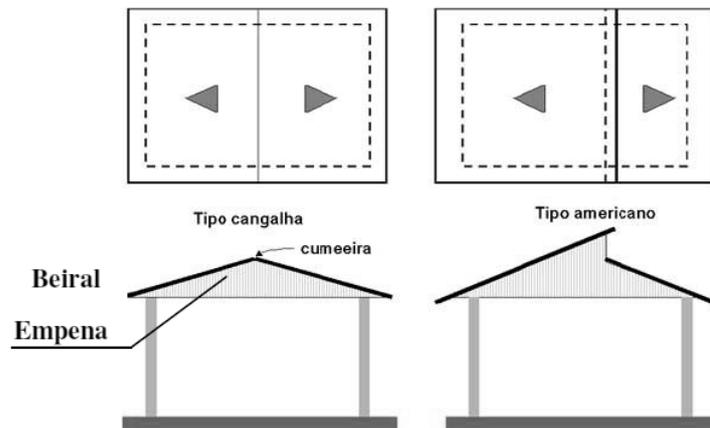


Figura 18: Superfície do telhado de duas águas
Fonte: Albuquerque (2006).

- Quatro águas (Figura 19): caracterizada por quatro planos, de formas regulares e irregulares, onde se tem 2 águas mestras, 2 tacaniças e 4 espigões;

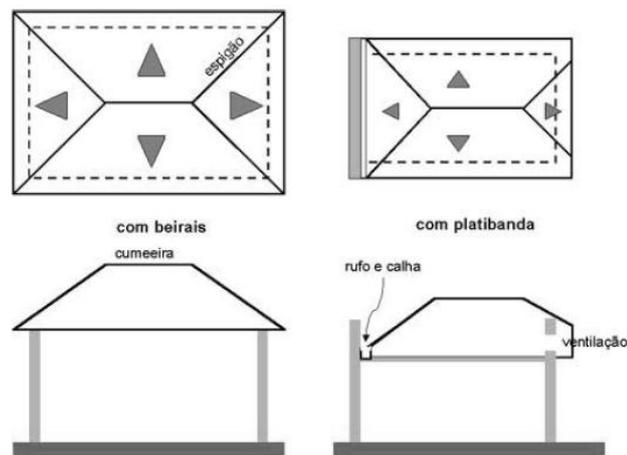


Figura 19: Superfície do telhado de quatro águas
Fonte: Albuquerque (2006).

Através das Figuras 17 a 19, expõem-se os detalhes da superfície das coberturas do telhado. No entanto, além desses há também os beirais e oitões, que segundo Moreira (2005), correspondem a tipos de estruturas propícias para cobertura, e cujas características são:

- Beirais (Figura 20) – é parte da cobertura que avança além dos alinhamentos das paredes externas; faz o papel das abas de um chapéu contra as águas da chuva; geralmente tem largura em torno de 60 cm a 1,00 m.

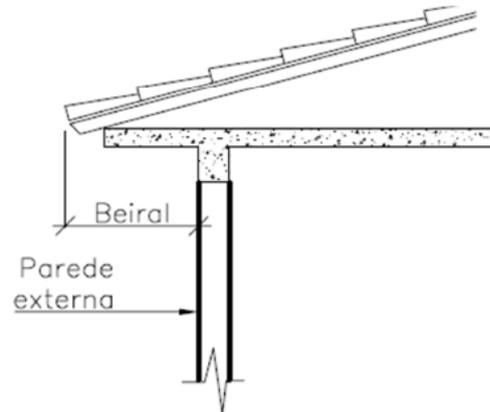


Figura 20: Ilustração do Beiral
Fonte: Moreira (2005).

- Platibandas (Figura 21) – é a continuação das paredes externas, com o objetivo de esconder as coberturas.

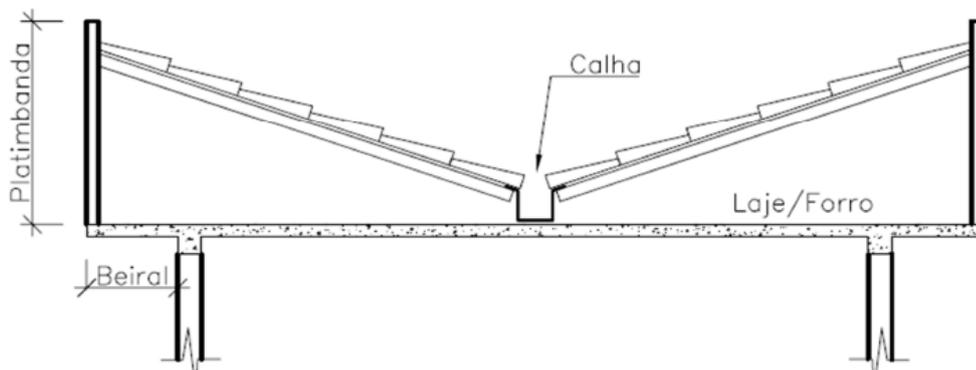


Figura 21: Ilustração da Platibanda
Fonte: Moreira (2005).

- Oitões (Figura 22) – são paredes externas paralelas às tesouras, que, muitas vezes servem de apoio para as terças.

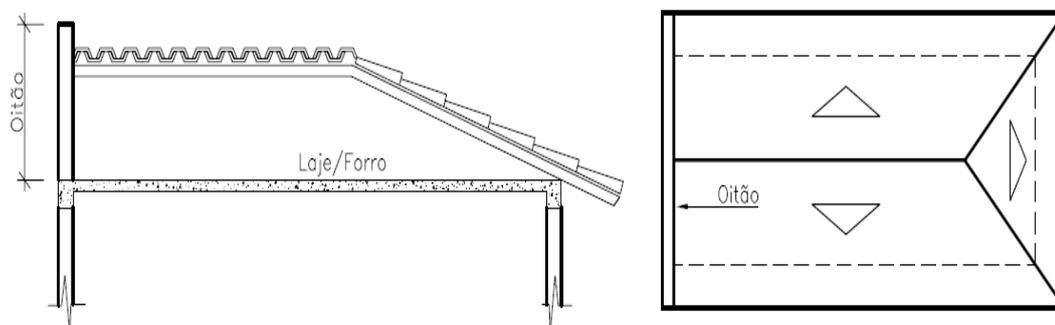


Figura 22: Ilustração do Oitão
Fonte: Moreira (2005).

2.1.3 Sistema de captação de águas pluviais

A principal função do telhado é a de proteger a edificação contra as intempéries, principalmente contra a chuva. Acerca disso, Salgado (2009) indica que na construção de um telhado pode-se prever um sistema de captação de águas pluviais composto de calhas e condutores. As calhas são elementos de seção variada e de matérias diversos, passando do zinco ao PVC, que são fixados nos beirais dos telhados com a finalidade de captar as águas pluviais e enviá-las aos condutores que são fixados nas alvenarias em pontos estratégicos. Além disso, Salgado (2009) elenca algumas dimensões relevantes para a seção da calha a ser incluída no projeto habitacional, que são apresentadas na Tabela 09.

Tabela 09: Exemplo mensuração das calhas e condutores

SEÇÃO DA CALHA	SEMICIRCULAR	
Área de contribuição do telhado	100	m ²
Seção da calha: 100 m ² /1,50 cm ² p/ m ²	66,67	cm ²
Dímetro da calha (seção semicircular)	13,04	cm
Seção do condutor	33,34	cm ²
Dímetro do condutor	6,52	cm

Fonte: Salgado (2009).

2.2 O MATERIAL PLÁSTICO

Ao longo dos anos, verifica-se que projetistas e engenheiros estão optando pelo uso dos plásticos, pois estes oferecem combinações e vantagens não encontradas em outros tipos de materiais, tais como: baixo peso específico, resistência à deterioração por decomposição e ataque de micro-organismos, resistência à corrosão, resistência mecânica, transparência, facilidade de processamento e baixo custo de manutenção.

Estas características técnicas do plástico vêm estimulando sua inserção na indústria da construção civil, em estruturas que antigamente eram constituídas apenas de madeira, aço ou concreto. A substituição de outros materiais pelo plástico se deve também a razões como o alto consumo de energia na produção de metais e de cimento, à pressão contra a utilização da madeira tropical e ao baixo custo do plástico reciclado (CANDIAN, 2009).

Segundo Marczak (2004), é uma tarefa quase impossível catalogar todos os plásticos existentes, haja vista que constantemente novos materiais são criados. Sua produção mundial, por exemplo, cresceu de 6 milhões de toneladas em 1960, para 120 milhões de toneladas em 2000.

A palavra “plástico” é de origem grega, *plastikós*, e corresponde a materiais que são formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas “polímeros” (ABMACO, 2012). O polímero adotado para a fabricação do Frechal corresponde aos termoplásticos. Segundo Parente (2006), estes polímeros quando são expostos a uma força externa de aquecimento, acontece enfraquecimento das propriedades intermoleculares do plástico e quando o polímero sofre uma ação externa de resfriamento, esta permite o enrijecimento de suas propriedades internas, deixando os termoplásticos mais resistentes.

Parente (2006) apresenta os seguintes tipos de termoplásticos: acetais e poliacetais, acrílicos, celulósicos, acetato vinil-etileno (EVA), polietileno tereftalato (PET), poliamidas (náilons), poliestireno, cloreto de polivinila (PVC), policarbonato, polipropileno e o polietileno. São os polietilenos de alta (PEAD) e baixa densidade (PEBD), que são adotados na fabricação do Frechal. Algumas características destes polímeros, de acordo com Parente (2006), são o seu baixo custo de manutenção, sua boa resistência química, sua facilidade de processamento e sua baixa permeabilidade à água.

A Tabela 10 indica as principais propriedades físicas dos termoplásticos. Dentre os expostos tem-se o PEAD que, não tem a maior propriedade física; no entanto, apresenta um baixo módulo de elasticidade frente aos outros polímeros, sendo uma característica bastante relevante deste polímero.

Tabela 10: Propriedades físicas dos termoplásticos

Propriedade do plástico	ρ (kg m ⁻³)	Resist. à Tração (MPa)	Deformação (%)	Módulo Elasticidade (GPa)	Trabalhabilidade (Processamento)
TERMOPLÁSTICO:					
PVC rígido	1330	48	200	3,4	Excelente
Poliestireno	1300	48	3	3,4	Regular
Polipropileno	1200	27	200 - 700	1,3	Excelente
Nylon	1160	60	90	2,4	Excelente
Nitrato celulósico	1350	48	40	1,4	Excelente
Acetato celulósico	1300	40	10 - 60	1,4	Excelente
Acrílico	1190	74	6	3,0	Excelente
Polietileno (alta densidade)	1450	20 - 30	20 - 100	0,7	Excelente

Fonte: Idol e Lehman (2004), apud Parente (2006, p. 38).

O polímero termoplástico tende a apresentar mudanças em suas propriedades térmicas e estas alterações de acordo com Parente (2006), são classificadas em: coeficiente de expansão térmica, temperatura de distorção ao calor, condutividade térmica, propriedades elétricas e propriedades óticas.

Para evitar ou amenizar estas alterações nos polímeros termoplásticos, pode-se acrescentar alguns materiais em seu processamento para melhorar as suas propriedades. Exemplos destes, segundo Parente (2006) são *aditivos*, bastante utilizados na ICC em materiais para aumentar a sua resistência, tais como: antioxidantes, retardantes de chama, modificadores de resistência ao impacto, agentes expansores, redutores de atrito, fungicidas e estabilizantes UV; fibra de carbono, fibra de vidro, mica e aramidas.

Segundo Crawford (1987), os polímeros termoplásticos apresentam uma característica intrínseca ao seu comportamento que pode ser verificada através do diagrama de tensão-deformação. Na Figura 23 pode-se ver esse diagrama.

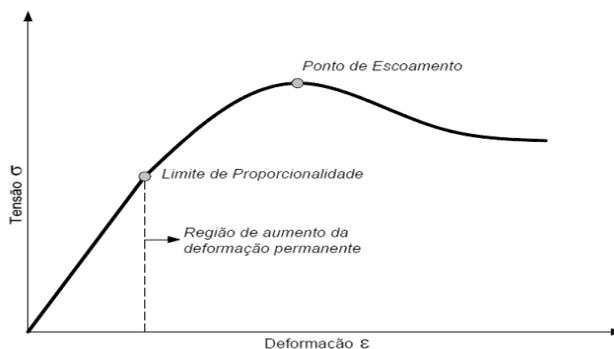


Figura 23: Diagrama típico dos materiais plásticos
Fonte: Crawford (1987) apud Parente (2006, p. 46).

A Figura 23 apresenta o comportamento do polímero em relação às variáveis tensão (σ) e deformação (ϵ). De acordo com Parente (2006), tem-se que para uma primeira deformação no polímero, este comportamento tende a alterar proporcionalmente a variável tensão, até que com aumentos de deformações proporcionará após o ponto “limite de proporcionalidade”, um comportamento de não linearidade em relação a estas duas variáveis até chegar à tensão ultima definida pelo ponto de escoamento.

Outra variável que proporciona alterações na propriedade mecânica do polímero é a temperatura. Estas mudanças podem ser visualizadas na Figura 24 que expõe o comportamento do polímero em relação às variáveis tensão (MPa) e deformação (%). De acordo com Parente (2006), tem-se que aumento na temperatura proporciona deformações maiores, que são acompanhadas por tensões menores; dessa forma, o polímero torna-se cada vez mais flexível.

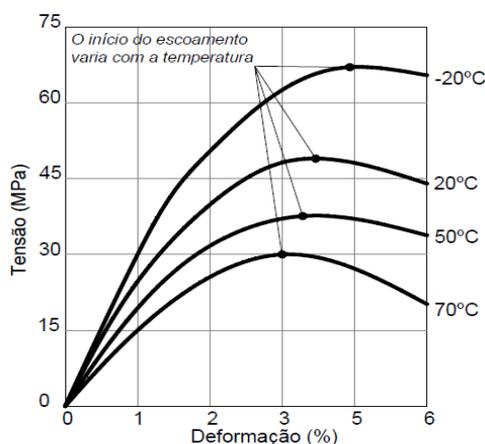


Figura 24: Efeito da temperatura no comportamento dos plásticos
Fonte: Crawford (1987) apud Parente (2006, p. 47).

Já quanto menor for à ação externa da temperatura no polímero, esta proporciona um resfriamento no material e, por conseguinte a tensão torna-se cada vez maior. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 25.

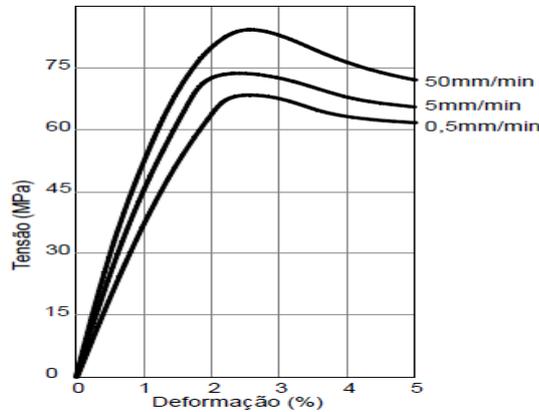


Figura 25: Efeito da variação da taxa de deformação nos plásticos

Fonte: Crawford (1987) apud Parente (2006 p. 48).

O comportamento mecânico dos polímeros aqui neste trabalho verifica-se através da fluência. Segundo Parente (2006), esta corresponde ao aumento de deformações para um determinado nível de tensão constante. Tem-se que para uma primeira carga (força), aplicada no polímero, este tende a sofrer uma primeira deformação elástica (externa) instantaneamente; ocorrendo o aumento desta carga, tende a proporcionar uma deformação viscoelástica (interna). A partir do momento que cessa o aumento dessa carga, a característica do polímero é de se recuperar, inicialmente com uma recuperação externa e posteriormente uma recuperação interna, ou seja, corresponde ao comportamento do material tender a voltar para sua “posição” inicial. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 26.

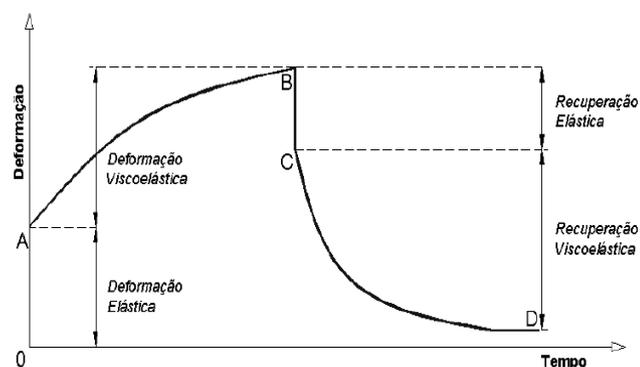


Figura 26: Fluência e recuperação de um material plástico

Fonte: Crawford (1987) apud Parente (2006, p. 49).

Após explanações referentes ao comportamento dos polímeros frente a alterações de tensão, temperatura e deformação, apresentam-se na Tabela 11, alguns dados referentes ao comportamento mecânico deste material.

Tabela 11: Propriedades mecânicas dos plásticos

Material	Densidade (Kg/m ³)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Deformação ¹ (%)
ABS (alto impacto)	1040	38	2200	8
Acrílico	1190	74	1000	2
Resinas epóxicas	1600 – 2000	68 – 200	20000	4
PEEK ²	1300	62	3800	4
PEEK (30% carbono)	1400	240	14000	1,6
PET	1360	75	3,00	70
PET (30% fibra de vidro)	1630	180	12000	3
Policarbonato	1150	65	2800	100
Poliamida	1420	72	2500	8
Polipropileno	1200	27	1300	200 – 700
Poliestireno	1300	48	3400	3
Polietileno (BD ³)	920	10	200	400
Polietileno (AD ⁴)	1450	20 – 30	1200	200 – 100
PVC rígido	1330	48	3400	200
PVC flexível	1300	14	7	300

Fonte: Crawford (1987) apud Parente (2006, p. 49).

Percebe-se na Tabela 11, que para diferentes polímeros, têm-se precisamente variações de comportamento mecânico, isto por sua vez, é uma premissa na adoção desses polímeros como matéria-prima para os produtos.

2.3 VIABILIDADE TÉCNICA DENTRO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Antes de apresentar a definição de Processo de Desenvolvimento de Novos Produtos (PDP) é necessário que se entenda a conceituação de produto. De acordo com Consenza (2006), do ponto de vista do mercado um produto/serviço é aquilo que o consumidor/cliente/usuário percebe como capaz de satisfazer uma necessidade material ou não. Assim, a noção de novo, varia conforme o critério que se utiliza na diferenciação do produto, pois mesmo não havendo algo técnico e

objetivamente novo o produto ou serviço pode ser percebido como tal pelo consumidor ou usuário.

Além disso, tem-se que o ponto inicial da transformação da ideia, de natureza imaterial, em algo físico é aqui denominado como produto. É através dele que se definem quais são os requisitos que o PDP deve atender. Dentro destes requisitos tem-se a verificação de sua viabilidade técnica, pela qual ocorre através das premissas de funcionalidade do produto ou como o usuário deverá interagir com este, limitações referentes à relação massa-volume, dimensões, capacidades físico-mecânicas, etc. (BARBOSA FILHO, 2009).

Considera-se, então, que o termo Processo de Desenvolvimento de Novos Produtos pode ser compreendido como um processo global de estratégia, organização, geração do conceito; criação de um plano do produto e de ações de marketing; avaliação; e comercialização de um novo produto (KRISHNAN; ULRICH, 2001; THIEME, 2007). Já sob a ótica de Krishnam e Ulrich (2001), PDP pode ser definido como a transformação de uma oportunidade de negócio e um conjunto de premissas sobre uma ou mais tecnologias em um produto aplicável para o mercado. De acordo com Borges (2008), o PDP corresponde a toda busca pelo melhor produto, com características que supram as necessidades do mercado, bem como todas as atividades que são necessárias para tal.

Rozenfeld *et al.*, (2006) dizem que o PDP é considerado como um processo composto de diversas fases, à medida que estas fases transcorrem, o nível de detalhamento deste processo é consideravelmente aumentado, requerendo decisões para diminuir o número de alternativas para materializar a ideia. Sob a ótica de Ulrich e Eppinger (2000), o PDP constitui uma sequência de fases ou atividades que são realizadas por uma organização para conceber, projetar e comercializar um produto. Takahashi e Takahashi (2007) destacam que o PDP implica em um processo de tomada de decisão difícil e interativo, existindo para tanto várias fases e filtros entre os mesmos.

Com relação ao PDP, não há um consenso, isto é, distintos autores divergem sobre o número e a definição das fases que envolvem o mesmo (GRENN, WILEMON, 1999). Contudo, existem fases comuns, como: a de criação (concepção) do conceito do produto (ULRICH; EPPINGER, 2000; CRAWFORD; BENEDETTO, 2000; KOTLER; KELLER, 2006; MOREIRA, 2009; SLACK, 2009) outra de planejamento (PAHL; BEITZ, 1996; ULRICH; EPPINGER, 2000; CRAWFORD,

BENEDETTO, 2003; KOTLER; KELLER, 2006; MOREIRA, 2009; SLACK, 2009), outra de detalhamento (PAHL; BEITZ, 1996; ULRICH; EPPINGER, 2000; MOREIRA, 2009; SLACK, 2009) e uma última de revisão e testes (ULRICH; EPPINGER, 2000; KOTLER; KELLER, 2006; Moreira (2009); Slack (2009)). Para desenvolvimento desta pesquisa torna-se relevante as fases expostas por (MOREIRA, 2009; SLACK 2009).

Após as considerações expostas apresentam-se na Figura 27, as fases referentes ao PDP.

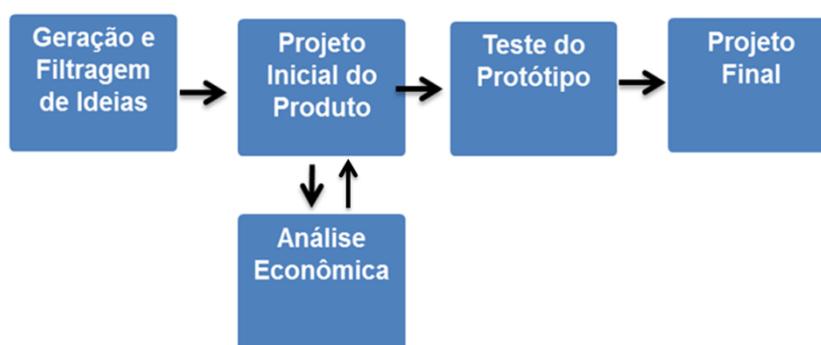


Figura 27: Fases do desenvolvimento de novos produtos
Fonte: Moreira (2009).

A Figura 27 expõe às fases do PDP, especificamente neste trabalho tem-se que o Frechal encontra-se na fase do teste do protótipo, tal fase se faz relevante, pois antes de lançar o projeto final e consequente a fabricação do produto é necessário verificar se o mesmo apresenta as características técnicas (propriedade físicas e mecânicas) necessárias para o seu bom funcionamento.

De acordo com Slack (2009), a primeira fase do PDP refere-se à **Geração e Filtragem de Ideias**. Qualquer nova ideia para produtos vem geralmente de duas fontes: Produtos Novos para o Mercado e Produtos Novos para a Empresa (IRIGARAY, 2011).

Segundo Amilton (2011), Kotler e Keller, (2006), existem seis tipos de novos produtos, são eles:

- *Novos para o mundo* (criam um mercado totalmente novo);
- *Novas Linhas de Produtos* (permitem uma empresa entrar em um mercado já estabelecido);
- *Acréscimos às Linhas de Produtos* (complementam as famílias de produtos já existentes);

- *Aperfeiçoamentos e Revisões* (oferecem um melhor desempenho ou maior valor percebido na substituição de produtos existentes);
- *Reposicionamentos* (direcionam produtos existentes para novos mercados ou para novos segmentos) e;
- *Reduções de Custo* (oferecem desempenho similar a um custo menor, geralmente vinculado a ganhos nos processos produtivos ou de distribuição, que são repassados, parcial ou totalmente, ao cliente final).

Sabendo da classificação dos tipos de novos produtos, considera-se agora que novas ideias de produtos são originadas basicamente dos seguintes stakeholders: clientes, fornecedores e parceiros (CLARK, WHEELWRIGHT, 1993). Pela ótica de Irigaray (2011), estas novas ideias de produtos inicia, normalmente, com a identificação clara das necessidades dos clientes. Esta identificação pode ser encontrada através de algumas medidas ou técnicas que são:

- Um fórum periódico reunindo equipes;
- Incentivo à participação de funcionários, uma análise de produtos das concorrências direta e indireta;
- Distribuidores;
- Fornecedores e representantes de vendas;
- Alta gerência;
- Fontes externas investidores, advogados de patentes, laboratórios de universidades, laboratórios comerciais, consultores, agencias de propaganda, empresas de pesquisa e publicações setoriais;
- Técnicas como: *Scamper* (substituir os componentes e materiais; combinar novos serviços; adaptar, alterar, mudar funções; modificar o formato, cores; pôr para outro uso novas linhas; eliminar os elementos ou reverter, o que não deve ser feito) e o *Brainstorming*.

Diversas técnicas podem ser utilizadas para geração de novas ideias de produtos; algumas podem ser visualizadas na Tabela 12.

Tabela 12: Técnicas de geração de Ideias

TÉCNICAS DE GERAÇÃO DE IDEIAS	
Passos para estruturar uma ideia para a decisão de sua seleção:	Brainstorming:
Identificação de requisitos do cliente; Determinação de requisitos do produto associados as necessidades do cliente; Descrição da ideia do produto; Coleta de dados sobre a ideia para suportar a decisão; Desenvolvimento da ideia e; Apresentação da ideia e tomada de decisão.	Grupo de 6 a 10 pessoas; Sessões de no máximo uma a duas horas – manhã; Crítica inicial proibida; Divagação bem-vinda; Quantidade encorajada; O “gancho” é utilizado; Divergências com total liberdade de expressão convergindo no momento final, críticas acontecendo e o consenso e o envolvimento do grupo em torno da evolução da ideia, buscando-se consolidar sua estruturação.

Fonte: Irigaray (2011).

Segundo Moreira (2009), muitas das novas ideias geradas para produtos vão sendo abandonadas ao longo das várias fases de desenvolvimento destes. Esta mortalidade pode ser simbolicamente representada na Figura 28.

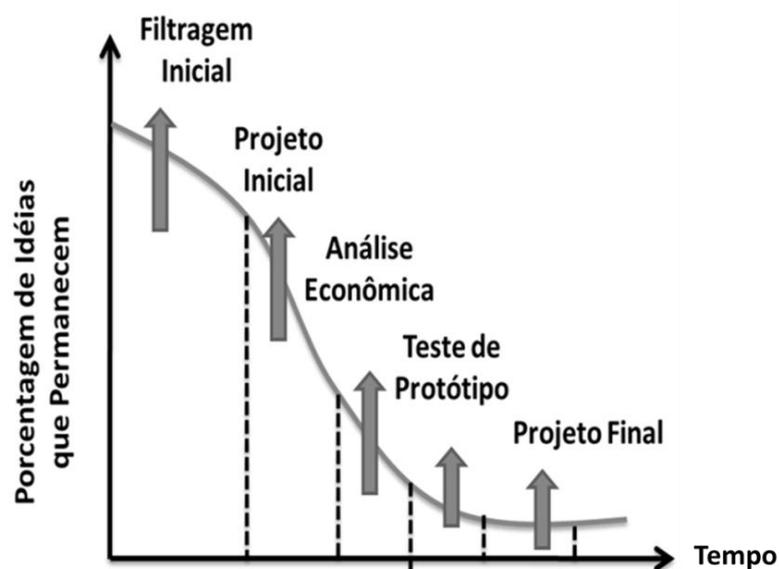


Figura 28: Mortalidade de Novas Ideias sobre Produtos
Fonte: Moreira (2009).

Baxter (1998) quantifica esta mortalidade observada na Figura 28, afirmando que de cada 10 ideias sobre novos produtos, 3 serão desenvolvidos, 1,3 serão lançados e apenas 1 será lucrativo. Além disso, no Brasil, mais de 80% dos produtos registrados não chegam nem a ser lançados (INPI, 2003). Assim, aquelas empresas que desenvolvem seus produtos de forma eficiente e que estão dinamicamente atentas às necessidades dos clientes e aos avanços tecnológicos estão mais propensas ao sucesso (GRIFFIN, 2009).

A segunda fase do PDP refere-se ao **Projeto Inicial do Produto**. Segundo Slack (2009), esta fase corresponde a gerar uma primeira versão das especificações dos produtos e serviços componentes e definir os processos para gerá-lo. Além disso, esta fase diz respeito à observação do fluxo de conceitos emergido da organização e avaliação destes, quanto à sua viabilidade, aceitabilidade e risco. Neste ponto é proposta uma seleção por diversas funções, como marketing, produção, finanças, etc.

De acordo com Moreira (2009), esta segunda fase deve resultar em um produto que seja, ao mesmo tempo, competitivo no mercado e possível de ser fabricado, ou seja, compatível com as capacidades operacionais da empresa. Mais especificamente, três fatores são levados em conta nesta fase. São eles:

1. *Detalhes funcionais do produto*: incluindo a parte física (peso, tamanho e aparência), detalhes de segurança, qualidade e necessidades de manutenção. Tanto o material a ser usado como o método de produção influem na qualidade e confiabilidade do produto, cujo mau funcionamento, em alguns casos, pode causar danos irreparáveis à propriedade quanto a vida humana. A vida útil do produto (isto é, sua durabilidade), os custos e a frequência de manutenção são vistos como qualidades fundamentais que ele deve apresentar do ponto de vista do consumidor;
2. *Necessidades técnicas*: incluindo a seleção de materiais e/ou peças, bem como métodos de manufatura. As necessidades técnicas são basicamente uma função daquilo que se pretende com os detalhes funcionais;
3. *Considerações de ordem econômica*: para não elevar desnecessariamente o preço final do produto para o mercado, deve-se evitar qualquer custo supérfluo que não contribua para o desempenho previsto do produto. A técnica usada por especialistas nessa área recebe o nome de *análise de*

valor, que pode ser aplicada tanto a novos produtos em estudo como a produtos já existentes, para melhorá-los ou barateá-los. Cada componente tem sua função analisada no tocante à necessidade e às opções de ser construído de forma diferente. São muito importantes também, do ponto de vista custo/desempenho, as possibilidades de substituição de um determinado material por outro. O próprio projeto é revisto, de forma que conduza às menores perdas possíveis de material durante o processo de fabricação.

Segundo Barbosa Filho (2009), nesta fase do projeto inicial do produto é particularmente útil à adoção do *diagrama de blocos*, uma ferramenta utilizada para a representação de funções necessárias ao produto (e suas partes), ou seja, servindo justamente para indicar as entradas e as transições entre dois componentes quaisquer e as saídas do sistema. Uma representação esquemática do diagrama de blocos pode ser visualizada na Figura 29.

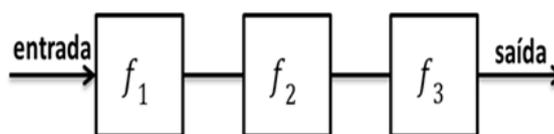


Figura 29: Diagrama de blocos
Fonte: Barbosa Filho (2009).

O diagrama de blocos estabelecido neste trabalho para o caso específico do Frechal tem-se que f_1 (concluída a etapa de construção da cobertura); f_2 (colocação do Frechal na parede) e f_3 (fixação dos pregos), tais mecanismos proporcionam a interação da estrutura com a alvenaria.

De acordo com Barbosa Filho (2009), consideram-se nesta segunda fase algumas considerações em relação a “*Metodologia Projetual*”, pela qual corresponde basicamente às características do produto e da preparação da equipe envolvida com a tarefa, podendo esta ser classificada de duas formas:

1. *Processo Projetual Descritivo*: quando o produto em questão for simples ou de baixa complexidade e a equipe de projeto experiente, sucessivos ciclos de construção e testes – com o refinamento projetual no produto já materializado

– podem se mostrar bem mais interessantes e de resultados mais promissores do que aqueles nos quais grandes esforços são dedicados à fase imaterial ou conceitual do projeto, em razão dos custos da própria equipe quando comparado ao custo do produto em desenvolvimento (PFAELZER; KRIZACK, 2000). A representação sistemática do processo pode ser visualizada na Figura 30.

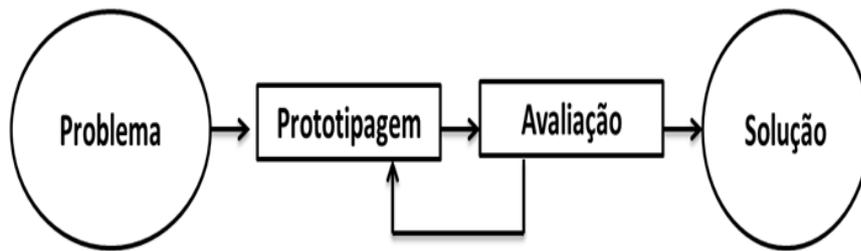


Figura 30: Processo Projetual Descritivo
Fonte: Barbosa Filho (2009).

- 2. Processo Projetual Prescritivo:** quando o produto é de tal complexidade que é necessária uma perfeita e adequada compreensão de suas dimensões e, também, os custos envolvidos na materialização visando ao posterior refinamento das possíveis soluções formuladas são elevados, se exige uma completa definição das melhores alternativas de solução sem que ocorra a construção destas alternativas. Ou seja, a fase imaterial deve ser completamente explorada e somente após o refinamento ainda no campo das ideias se passará à materialização do produto já bem próximo de sua condição final (COSTA; ROMEIRO FILHO, 2001). A representação sistemática deste processo pode ser visualizada na Figura 31 a seguir.

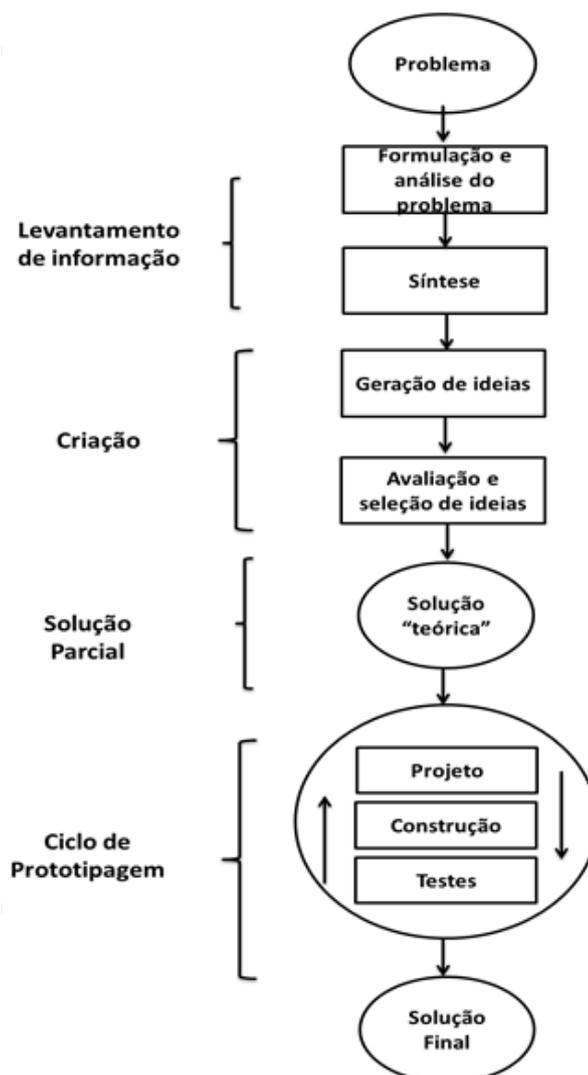


Figura 31: Processo Projetual Prescritivo
Fonte: Barbosa Filho (2009).

A terceira fase do PDP refere-se à **Análise Econômica**, segundo Moreira (2009), deve-se obter uma estimativa da demanda e do seu crescimento potencial. Para uma análise mais detalhada das possibilidades do produto estimativas de custos devem ser obtidas tanto para os custos fixos como para os custos variáveis. A análise do ponto de equilíbrio pode ser usada para verificar se a demanda prevista inicialmente está longe ou perto do ponto de equilíbrio e quando o alcançará, ou seja, em quanto tempo os custos e os investimentos começaram a se pagar.

A quarta fase do PDP corresponde ao **Teste do Protótipo**, é justamente nesta fase que se encontra as concepções relevantes para este trabalho, pois é aqui que entra os resultados para deferir ou indeferir a viabilidade técnica do produto.

De acordo com Moreira (2009), nesta fase o protótipo serve para testar o produto sob condições reais de operação, levando em conta o desempenho técnico e o desempenho de mercado.

Segundo Slack (2009), esta fase corresponde à transformação do projeto melhorado em um protótipo que possa ser testado. Pode ser em papelão, argila, simulações em computador, entre outros.

Já sob a ótica de Irigaray (2011), esta fase corresponde à etapa pela qual a ideia é traduzida para a linguagem que poderá ser avaliada pelo cliente potencial, portanto, quanto mais próxima da experiência final do cliente esta descrição estiver, mais preciso será o teste, sua análise e tomada de decisão. O ideal é tangibilizar esta experiência com amostras ou protótipos, que podem ser trabalhados com realidade virtual ou em laboratórios, reduzindo o custo e ampliando sua aplicação para grupos maiores de clientes potenciais, mesmo a distância.

De acordo com Pugh (1996), os testes com produtos são realizados no processo de desenvolvimento do produto e durante a vida de mercado. No processo de projeto, os testes ocorrem desde as primeiras fases, através de representações (esboços, layouts, detalhes, animações gráficas, *mockups*, maquetes e protótipos...), sobre os quais avaliações qualitativas e quantitativas podem ser realizadas.

Desde o princípio do processo de projeto deve-se buscar especificar que tipos de testes podem ser realizados, bem como os métodos de avaliação a serem empregados. Outros testes estarão associados ao ciclo de vida no mercado. Estes se configuram como operações do processo de produção. Eles podem ocorrer no produto acabado ou em suas partes. Produtos mais sofisticados já incorporam rotinas de auto-avaliação que possibilitam diagnosticar desvios em alguma variável importante do seu desempenho.

Pahl (2005) expõe alguns conceitos relacionados a esta fase de teste do protótipo, são eles:

- a) **Confiabilidade:** capacidade de um sistema técnico satisfazer aos requisitos pertinentes à sua utilização segura, seguindo padrões e limites de desempenho previamente estabelecidos, numa unidade de tempo;
- b) **Disponibilidade:** relação entre o tempo de uso efetivo de um sistema ou que este se encontra à disposição para tanto, em perfeito estado e o tempo de vida útil e;

- c) *Segurança*: diferentes áreas de mercado estabelecerão níveis diferenciados de exigências em relação aos produtos. Aqui o produto deve passar por um processo de avaliação quanto aos aspectos de segurança. As pessoas fazem uso indevido de produtos frequentemente. Produtos manuseados por idosos e crianças devem ser especialmente estudados. A segurança deve ser pensada durante os ciclos de produção, uso e descarte, com vistas aos trabalhadores, usuários e terceiros que por ventura tenham qualquer contato com o produto ou possam ser atingidos pelos seus efeitos.

Tais conceitos desembocam, necessariamente, nos conceitos de projeto de desenvolvimento de novos produtos, ensejando oportunidades para reflexões acerca do planejamento da substituição dos mesmos, quando da avaliação de sua vida útil física e econômica (BARBOSA FILHO, 2009).

De acordo com Consenza (2006), nesta fase têm-se os seguintes tipos e avaliação: Teste de Conceito; Teste Clínico e Teste de Produto.

1. **Teste de Conceito** - corresponde em uma pesquisa quali/quantitativa junto ao público, esta tem por objetivo avaliar a aceitação da ideia do produto caso venha ele se tornar realidade. Quando o conceito for inédito, isto é, quando não há categoria de produto similar no país, levantam-se informações sobre os hábitos e atitudes dos consumidores/clientes/usuários diretamente relacionados com as finalidades do produto/serviço. Quando o conceito não for inédito, isto é, quando já existe produto similar ou de mesma categoria sendo comercializado no país, levantam-se os hábitos e atitudes dos consumidores/clientes/usuários em relação aos itens similares de seu conhecimento;
2. **Teste Clínico** - dependendo do tipo de produto, solicita-se a realização de testes clínicos antes do teste de produto e só iniciará este último após os resultados favoráveis do laboratório. Caso estes resultados indiquem modificações a serem feitas os protótipos deverão ser retestados clinicamente até a obtenção de uma aprovação completa. Só então será realizado o Teste de Produto. Tratando-se de um produto industrial será construído um protótipo da máquina ou do equipamento em questão no próprio parque do fabricante, para analisar justamente o seu desempenho técnico e;

3. Teste de Produto – aplica-se a produtos de consumo e é uma forma de avaliar o seu desempenho em condições reais de uso. O Instituto de Pesquisa encarregado da execução do teste seleciona uma amostra do produto e o submete a testes físicos e mecânicos perante um laboratório. O resultado indicará aspectos relevantes para o lançamento do produto em mercado, reciclo do produto ou em reteste, ou simplesmente o abandono do produto para fazer futuras pesquisas.

A última fase do PDP é o **Projeto Final** que, de acordo com Moreira (2009) corresponde à elaboração dos desenhos e as especificações finais detalhadas para o produto, incorporando-se as eventuais mudanças devidas aos testes com protótipos, a partir daí o produto está pronto para início da produção em escala comercial. Slack (2009) afirma que nesta fase analisam-se todas as fases anteriores e verifica se o PDP, pode ser otimizado antes que o produto seja lançado no mercado.

Tem-se então que a engenharia ou desenvolvimento de produtos consiste exatamente na justificação racional das decisões relativas ao projeto do produto, de modo a torná-lo mais fácil de produzir, com melhor desempenho e maiores chances de sucesso junto ao mercado consumidor.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este referencial bibliográfico teve como finalidade o embasamento das áreas exploradas para nortear a pesquisa sobre a viabilidade técnica do plástico reciclado na fabricação do Frechal utilizado na construção de habitações unifamiliares.

O embasamento teórico sobre a construção de habitações unifamiliares apresentou conceitos, importância, classificações e caracterizações que orientaram o desenvolvimento da pesquisa sobre as etapas de construção de uma habitação unifamiliar e, por conseguinte a localização e função do Frechal.

Dando continuidade a revisão bibliográfica, abordou-se o material plástico, conceituando-o, definindo-o de forma a oferecer pressupostos que nortearam o entendimento sobre os tipos de materiais e propriedades dos plásticos adotados para a fabricação do Frechal.

Complementando o conteúdo acerca do tema proposto, abordou-se a viabilidade técnica dentro do processo de desenvolvimento de novos produtos, focalizando nas fases do PDP e especificando que o Frechal encontra-se na fase Teste do Protótipo.

Concluindo, o referencial teórico favoreceu a criação de indicadores para verificar a viabilidade técnica do Frechal. Estes foram comprovados em ensaios nos laboratórios da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e estão definidos no capítulo seguinte da metodologia.

3 METODOLOGIA

Este capítulo expõe o caminho através do qual se chegou à realização de toda a pesquisa, na busca de atingir os objetivos deste trabalho de dissertação.

3.1 TIPOLOGIA DA PESQUISA

Segundo Silva *et. al.* (2005), as pesquisas podem ser classificadas quanto à natureza, forma de abordagem, objetivos e procedimentos técnicos. A pesquisa em pauta apresenta a seguinte tipologia:

- Do ponto de vista da natureza: a pesquisa é aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos sobre a viabilidade técnica do Frechal confeccionado a partir de plástico reciclado para aplicação prática na ICC como peça estrutural na etapa de construção da estrutura do telhado das Habitações unifamiliares;
- Em relação à abordagem do problema: a pesquisa é quantitativa, pois quantifica as propriedades físicas e mecânicas do Frechal fabricado a partir do plástico reciclado, analisando a sua possível viabilidade para utilização na ICC;
- Quanto aos objetivos: a pesquisa é exploratória e explicativa, pois envolve um levantamento bibliográfico sobre o processo de construção da estrutura do telhado da habitação unifamiliar, além dos plásticos e por fim sobre a viabilidade técnica, depois identifica, através de experimentos, as propriedades supracitadas do novo produto em estudo; e
- Do ponto de vista dos procedimentos técnicos: a pesquisa é bibliográfica e experimental, pois foi elaborada com a utilização de materiais publicados. E foi determinado como objeto de estudo um novo produto para ser utilizado nas habitações unifamiliares, selecionando-se alguns esforços que seriam capazes de influenciá-lo, e definidas observações que os esforços produzem no objeto de estudo.

3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Concluída a pesquisa bibliográfica, foi realizada a pesquisa experimental para verificar a viabilidade técnica do Frechal, através de testes, aos quais o protótipo foi submetido nos seguintes laboratórios: Laboratório de Materiais e Produtos Cerâmicos (ensaio de absorção); Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas – LABEME (ensaio de flexão, compressão, fluência e resistência à compressão à temperatura); e o Laboratório de Solidificação Rápida (ensaio de módulo de elasticidade).

A Figura 32 apresenta o fluxograma do programa de testes realizados no Frechal de plástico reciclado, e na Tabela 13 são apresentados os indicadores e as variáveis juntamente com as suas definições estabelecidas nesse trabalho.

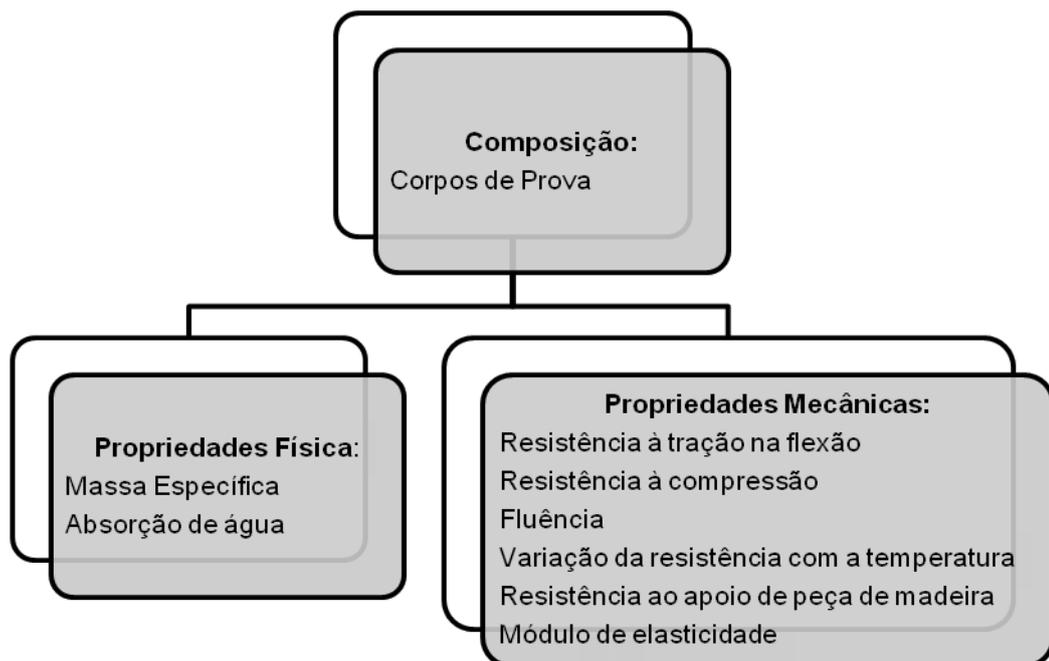


Figura 32: Fluxograma dos testes realizados no Frechal

Tabela 13: Variáveis e indicadores do trabalho em estudo

VARIÁVEIS		DEFINIÇÃO	INDICADORES
Propriedades Físicas do Material	Características Físicas do Material	<i>Massa específica</i>	$\geq 0,8 \text{ kg/dm}^3$
		<i>Absorção de água</i>	$\leq 10\%$
Propriedades Mecânicas do Elemento	Características Mecânicas do Frechal	<i>Resistência à tração na flexão</i>	$\geq 20 \text{ MPa}$
		<i>Resistência à compressão</i>	$\geq 20 \text{ MPa}$
		<i>Fluência em flexão</i>	<i>Pouca flexibilidade (aumento de flecha pouco significativo)</i>
		<i>Variação da resistência com a temperatura 60° C</i>	$\geq 20 \text{ MPa}$
		<i>Resistência ao apoio de peça de madeira</i>	<i>Ausência de deformação visível</i>
		<i>Módulo de Elasticidade</i>	$\geq 10 \text{ GPa}$

3.2.1 Testes Realizados

O processo para verificar a viabilidade técnica do Frechal iniciou-se com a determinação da quantidade de peças necessária para os testes. Foram necessárias 3 (três) peças de 3 000 mm x 80 mm x 80 mm, cada uma com 19,20 kg.

Em cada tipo de teste usaram-se corpos de prova de diferentes dimensões, estando elas indicadas na Tabela 14.

Tabela 14: Tipo de teste e dimensão do corpo de prova (CP)

Teste	Corpo de Prova (CP) [mm]				Total CP
1. Massa específica	4 CP (80x80x160)		4 CP (80x80x80)		8
2. Absorção	4 CP (80x80x160)		4 CP (80x80x80)		8
3. Flexão	80x80x600				1
4. Compressão	4 CP (80x80x160)		4 CP (80x80x80)		8
5. Fluência	80x80x1270				1
6. Resistência à compressão com Temperatura	80x80x83	80X80X81	80X80X83	80X80X90	4
7. Resistência ao apoio	80x62x94				1
8. Módulo de Elasticidade	80x80x160				2

Algumas das medidas indicadas na Tabela 14 podem ser visualizadas na figura 33.

**Figura 33:** Corpos de Prova do Frechal

As medidas observadas na Tabela 14 estão de acordo com as recomendações contidas na NBR /7190/ (1997) – Projeto de Estruturas de Madeira.

O procedimento dos ensaios foi dividido em duas etapas: a primeira teve como objetivo determinar as características físicas do material, ou seja, sua massa específica e seu comportamento em relação à absorção de água; e a segunda etapa, buscou expor as características mecânicas do Frechal, correspondendo assim, a sua resistência à compressão, resistência à tração na flexão, fluência e

variação da resistência com a temperatura, resistência ao apoio de peça de madeira e módulo de elasticidade.

O ensaio 2, exposto na Tabela 14, foi realizado no Laboratório de Materiais e Produtos Cerâmicos. Os testes 1, 3, 4, 5, 6, e 7 foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da UFPB – LABEME, e o teste 8, foi realizado no Laboratório de Solidificação Rápida. A seguir apresenta-se a descrição dos testes citados na Tabela 17.

1. Massa Específica

A massa específica dos corpos de prova foi obtida através da [Equação 5].

$$\text{Massa específica} = \frac{\text{massa seca (g)}}{\text{volume (v)}} \quad (5)$$

As letras X e Y foram usadas para diferenciar a origem dos corpos de prova. A letra X indica que o material das peças que deram origem aos CP se achava menos compacta com muitos vazios, como se vê na Figura 34. A letra Y se refere ao material mais compacto, também visto na Figura.



Figura 34: corpos-de-prova X e Y

2. Absorção

O ensaio de absorção de água baseou-se na norma NBR 8514 (Plásticos – determinação de absorção de água). A absorção pode ser verificada pela equação [6]:

$$\text{Absorção} = \frac{M_f - M_0}{M_0} \cdot 100 \quad (6)$$

Foram usados 4 corpos de prova de 80x80x160mm e 4 corpos de prova de 80x80x80mm. O peso dos respectivos CP foi determinado através da balança

centesimal da marca BEL. A balança centesimal da marca BEL pode ser visualizada na Figura 35.



Figura 35: Balança Centesimal BEL
Fonte: Laboratório de Materiais Cerâmicos

Após a pesagem os CP foram submersos na água, em um recipiente plástico onde a temperatura ambiente de $\pm 30^{\circ}\text{C}$, posteriormente foi adicionada água, no entanto, percebeu-se a necessidade de colocar tijolos para que os CP ficassem completamente imersos na água. Este processo pode ser visualizado na Figura 36.



Figura 36: Processo de imersão dos CP na água

Após 3 dias, ou seja 72 h, os CP foram retirados do balde passou-se um pano para retirar o excesso de água na superfície de cada um. A seguir fez-se nova pesagem para determinar o peso saturado (M_f). Este processo pode ser visualizado na Figura 37.



Figura 37: Processo de pesagem dos CP saturados

3. Resistência à Flexão

A resistência à flexão foi determinada de acordo com a NBR 7447 (Plásticos rígidos – determinação das propriedades de flexão). Este ensaio teve como objetivo determinar o módulo de ruptura (MPa), dado pela equação (7).

$$MR = \frac{3P_{m\acute{a}x} \cdot \alpha}{bh^2} \quad (7)$$

Onde:

MR = Módulo de Ruptura (MPa);

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga de ruptura (carga máxima medida na máquina de ensaio N);

α = distância entre os apoios, $L/3$ (m);

L = comprimento do corpo de prova (m);

b = largura base do CP (mm);

h = altura do CP (mm).

Este ensaio foi realizado à temperatura ambiente de $\pm 30^\circ\text{C}$ em um CP medindo 80x80x600mm. O equipamento utilizado para determinar a resistência a flexão do Frechal, consiste em uma prensa universal (SoilTest Versatester 30M), exposta na Figura 38. Uma válvula de controle permite ao operador aplicar manualmente diferentes taxas de velocidade de deformação.



Figura 38: Máquina para ensaio de resistência à flexão

Na prensa universal, usam-se dois dispositivos regulados com uma distância de 16 cm e o outro com 48 cm (Figura 39), posto um acima do CP e o outro abaixo.

A preparação dos dispositivos com o CP pode ser visualizada na Figura 39.

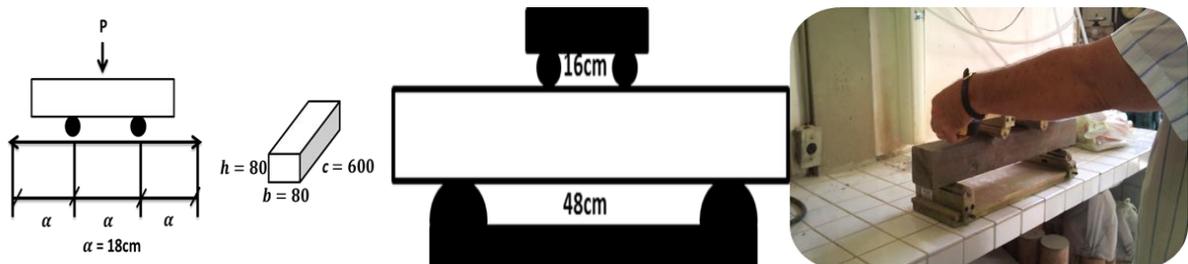


Figura 39: Preparação do dispositivo para ensaio de resistência à flexão

A junção dos dispositivos e CP na máquina podem ser visualizadas através da Figura 40.



Figura 40: Ensaio de Flexão

4. Ensaio de Compressão

Este ensaio para medir a resistência à compressão do material, tem como base a norma NBR 7190 (Projeto de estruturas de madeira), que relata a resistência da madeira a ser empregada no projeto de estruturas. Foram usados CP cúbicos e prismáticos com altura igual a duas vezes o lado. A equação (8) foi utilizada para cálculo do ensaio de compressão.

$$RC = \frac{P_{m\acute{a}x}}{b \cdot h} \quad (8)$$

Onde:

RC = Resistencia à compressão em MPa;

P = Carga de ruptura (carga mecânica) em N;

b, h = dimensões da seção transversal em mm.

Utilizou-se para este ensaio duas máquinas, uma fez o teste do corpo-de-prova 1XM e a outra dos demais, ou seja, Y1'M, 2YP, 1XP, 1X'M, 1YM, 1YP, 2XP.

O equipamento 1 (Figura 41), é uma prensa universal (I-4214) utilizada para ensaios de tração e compressão hidráulica, capacidade 5 t, segundo a NBR NM ISO 7500-1 (Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos).



Figura 41: Prensa universal 1 para ensaio de compressão

O equipamento 2 (Figura 42), é uma Prensa Hidráulica de acionamento manual, modelo PCM 100C. Com capacidade máxima 100 ton (1MN), ideal para laboratório de controle de qualidade.



Figura 42: Prensa universal 2 para ensaio de compressão

A colocação do CP no equipamento pode ser visualizada através da Figura 43.



Figura 43: Ensaio de resistência à compressão

5. Fluência

O ensaio de fluência permite verificar ao longo do tempo o comportamento do material. Em um ensaio de fluência simples, o corpo-de-prova sem perturbação é sujeito, inicialmente, no tempo $t = 0$, a uma tensão σ_0 , que é mantida constante durante o ensaio. Em consequência, uma deformação dependente do tempo $\varepsilon(t)$ é observada (PARENTE, 2006).

Este ensaio foi realizado à temperatura ambiente de 30°C em um CP medindo 80mm x 80mm x 1270mm.

O CP foi instrumentado com relógio comparador modelo 2052S da marca Mitutoyo, que apresenta as seguintes propriedades: mostrador contínuo, amortecedor de retorno, capacidade (Métrica) 30 mm, graduação de 0,01 mm, exatidão de $\pm 0,025$ mm, curso por volta de 1 mm, mostrador de 0-100 (100-0). O equipamento pode ser visto na Figura 44.



Figura 44: Extensômetro usado no ensaio de fluência

Foram aplicados três níveis de cargas sobre o CP (Figura 45). Estes foram colocados sucessivamente abrangendo um total de 97,4kg.



Figura 45: Pesos aplicados ao CP

Após ser instalado o relógio comparador junto ao CP, iniciou-se a colocação dos pesos sobre ele em temperatura constante de $\pm 30^{\circ}\text{C}$. A Figura 46 mostra o CP sendo submetido ao teste de fluência.



Figura 46: Ensaio de Fluência

6. Resistência à compressão à Temperatura de 60°C

O ensaio de resistência de compressão à temperatura se faz relevante, pois a exposição do plástico ao calor afeta o seu comportamento, tornando-o mais flexível à medida que a temperatura aumenta, ou seja, deformando-se ainda mais, com níveis de tensões menores (PARENTE, 2006).

Este ensaio foi realizado com os CP à temperatura de 60°C . Foram utilizados 4 CP (Figura 47).



Figura 47: Corpos-de-prova para ensaio de compressão à temperatura

Os CP foram pesados na balança de medição centesimal (Figura 35) e posteriormente inseridos na estufa a 60°C de esterilização e secagem (Figura 48).



Figura 48: Estufa de esterilização e secagem com termômetro para aferição

Posteriormente, os CP foram submetidos ao ensaio de compressão (temperatura ambiente) através da Prensa Hidráulica de acionamento manual, modelo PCM100C (Figura 42).

7. Resistência de Apoio – comportamento sob carga concentrada

A função de Frechal é receber carga concentrada de peças de madeira. Por este motivo, foi necessário o ensaio de resistência à flexão (Figura 46), utilizando-se a prensa universal (SoilTest Versatester 30M).

O teste iniciou com a utilização de um corpo-de-prova medindo 62 mm x 94 mm (Figura 49) inserido na prensa e apoiado no prato da mesma. Além disso, foi apoiada sobre o Frechal uma peça de madeira, pelo qual ambos foram submetidos a uma força crescente (instantaneamente). Depois do ensaio, verificava-se o estado em que se encontrava o Frechal.



Figura 49: Ensaio de resistência ao apoio

8. Ensaio para módulo de elasticidade à compressão

Para a realização desse ensaio, foram utilizados dois corpos-de-prova identificados como X e Y, ambos com 80x80x160 mm visto na Figura 50. O CP X é menos compacto que Y.



Figura 50: Corpos-de-prova utilizados para ensaio do módulo de elasticidade

O equipamento utilizado para realizar este ensaio foi o *Compact Pneumatic Fatigue/Endurance Testing System* (Figura 51).

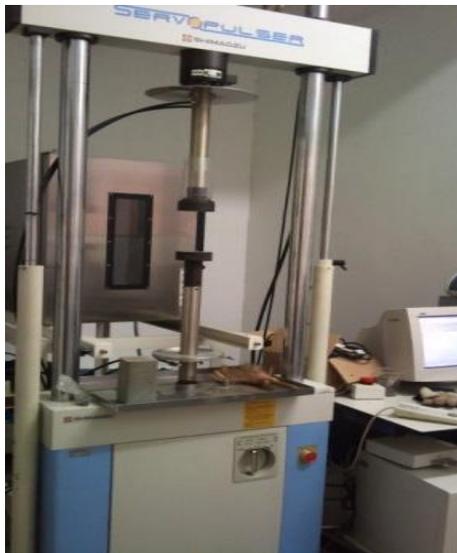


Figura 51: Equipamento para ensaio de elasticidade

O princípio de operação do Servo Air, ocorre basicamente da seguinte forma: O equipamento é alimentado por um compressor, que proporciona a força de ensaio e deslocamento dos pistões sobre o corpo-de-prova. A partir daí, o equipamento detecta as células e carga e medidores de deslocamentos respectivos e os envia como sinais elétricos para o computador que tem um software que faz a leitura dos dados. A Figura 52 mostra o ensaio realizado no CP.



Figura 52: Ensaio modelo de elasticidade no CP

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos em relação aos testes realizados nos laboratórios da UFPB, com a finalidade de se conhecer as propriedades físicas e mecânicas do Frechal. Para atestar sua viabilidade técnica, comparam-se estes resultados com os indicadores apresentados na Tabela 13.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO FRECHAL DE PLÁSTICO RECICLADO

4.1.1 Propriedades físicas: massa específica e absorção de água

4.1.1.1 Massa Específica

A massa específica obtida do material em estudo apresenta-se na Tabela 15, apresenta os valores e números encontrados. Tal resultado indica densidade e leveza do material em estudo, além de comprovar que tal resultado está dentro da ótica estabelecida pelo quadro de indicadores.

Tabela 15: Massa específica Frechal

Material	Massa específica (kg/dm ³)
X	0,91 – 0,99
Y	0,93 – 1,02

4.1.1.2 Absorção de água

Os resultados com os valores do nível percentual de absorção às 72h do material Frechal podem ser visualizados na Tabela 16, que apresenta os 08 corpos-de-prova que foram testados, além dos seus valores de massa seca, massa saturada e a imagem do mesmo saturado (Figura 53). Obteve-se um valor médio para o nível percentual de absorção do Frechal igual a 2,67%. Este valor está dentro da ótica estabelecida no quadro de indicadores, Tabela 13 ($\leq 10\%$).

Nota-se que há uma variação de 0,91% a 1,20% nos valores obtidos. Isto é devido aos vazios de pequenas dimensões que não se distribuem uniformemente ao longo da peça de plástico estudada.



Figura 53: Corpos-de-prova usados no ensaio de Absorção

Tabela 16: Dados referentes à Absorção do Frechal

CP	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Abs (%)
1XP	467,90	491,8	5,11
2XP	496,90	527,70	6,20
1XM	990,40	1018,00	2,79
1X'M	1018,00	1050,10	3,15
1YP	522,30	57,30	0,96
2YP	501,10	508,70	1,52
1YM	954,30	963,00	0,91
1Y'M	972,40	979,70	0,91

O Gráfico 02, mostra a “massa” dos CP testados, verificando-se que o nível de absorção após a imersão dos corpos-de-prova na água proporcionou um aumento em sua massa. Basicamente a diferença obtida deve-se ao fato de que algumas peças tinham pequenas aberturas na seção transversal, e outras tinham a seção mais fechada.

Isto poderia ter sido resolvido preenchendo as aberturas com o próprio descarte do Frechal, pois quando este é cortado libera pequenas partículas de plástico que podem ser aquecida (aquecedor térmico manual) tornando-se uma massa pastosa e, por conseguinte ser novamente recolocada no produto.

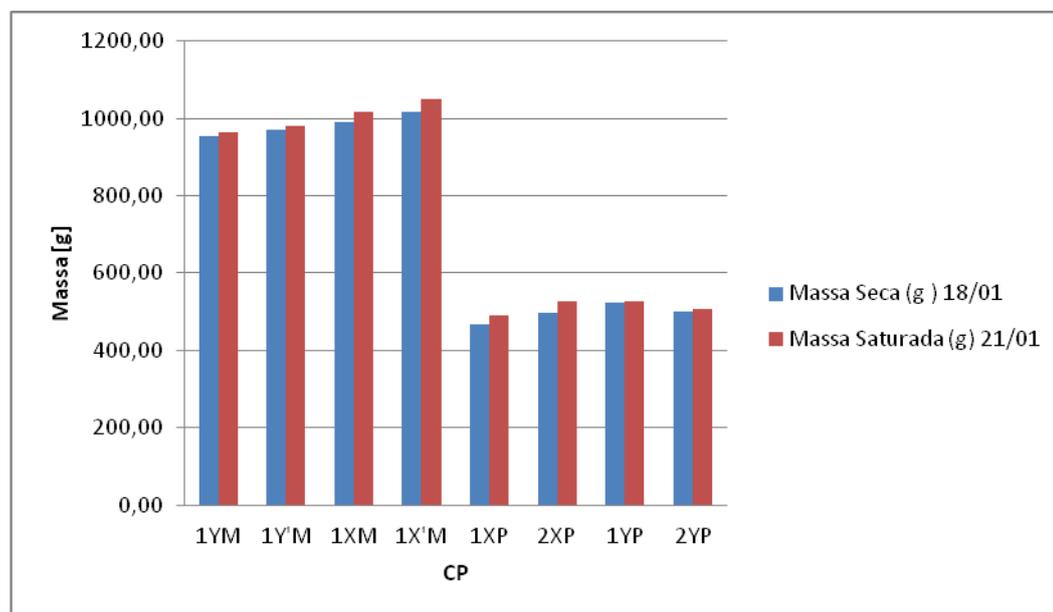


Gráfico 02: Comparação das massas dos corpos-de-prova

4.1.2 Propriedades mecânicas do Frechal

4.1.2.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio da resistência à tração na flexão do Frechal estão apresentados na Tabela 17. A curva carga-flecha correspondente é vista no Gráfico 03.

Tabela 17: Resistência à tração na flexão

Força [kgf]	0	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2350
Deformação (mm)	0	3,5	5,8	7,3	8,9	11,5	14,5	18,9	RUPTURA

É possível verificar na Tabela 17 que a ruptura do CP ocorreu quando se aplicou uma força de 2350 kgf. A imagem do CP após o rompimento pode ser visualizada na Figura 54.



Figura 54: Corpo-de-prova rompido

Substituindo o valor 2350 kgf na equação 7, encontra-se o módulo de ruptura para o Frechal que é 22 MPa. Este resultado apresenta-se dentro do estimado na Tabela 13 ($\geq 20 \text{ MPa}$). Tal resultado foi bastante significativo em relação ao que se espera para a aplicabilidade do Frechal.

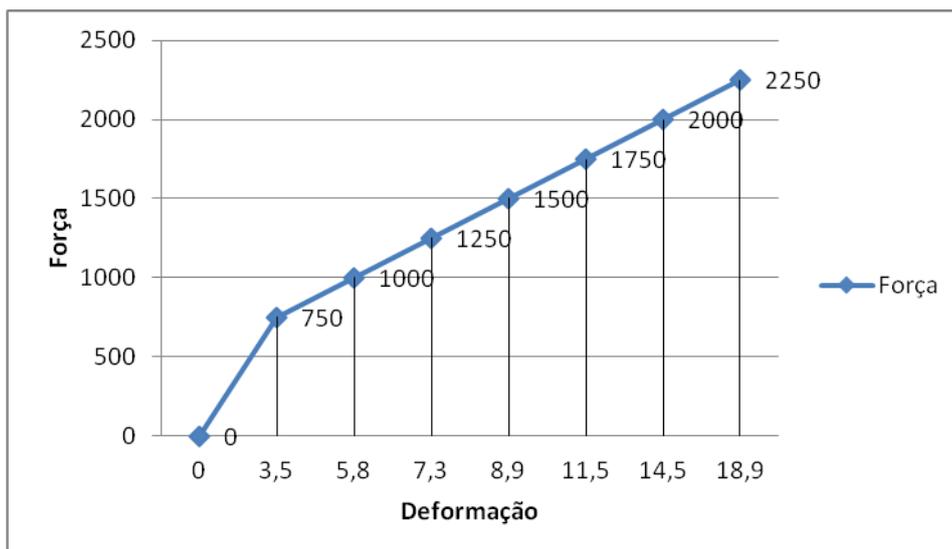


Gráfico 03: Curva carga de deformação no ensaio de flexão

4.1.2.2 Resistência à compressão

Os resultados da resistência à compressão do Frechal estão apresentados na Tabela 18 e no Gráfico 04.

O valor médio da resistência à compressão que o Frechal alcançou foi de 23,91 MPa (CP seco) e 23,65 MPa (CP saturado). Houve variação entre cerca 17 MPa e 30 MPa, pelo fato já citado de alguns corpos de prova apresentarem mais vazios que outro. Segundo a Tabela 13, o objetivo era se ter resistência $\geq 20\text{MPa}$. Pode-se então considerar satisfeito esse parâmetro.

Tabela 18: Dados referente à Resistência à compressão

Corpo-de-prova Seco		
CP	Dados (Kgf)	MPa
1XP	11,00	17,19
1XM	13,40	20,94
2YP	17,60	27,50
1Y'M	19,20	30,00
Corpo-de-prova Saturado		
1XP	12,00	18,75
1XM	13,359	20,87
2YP	16,800	26,25
1Y'M	18,400	28,75

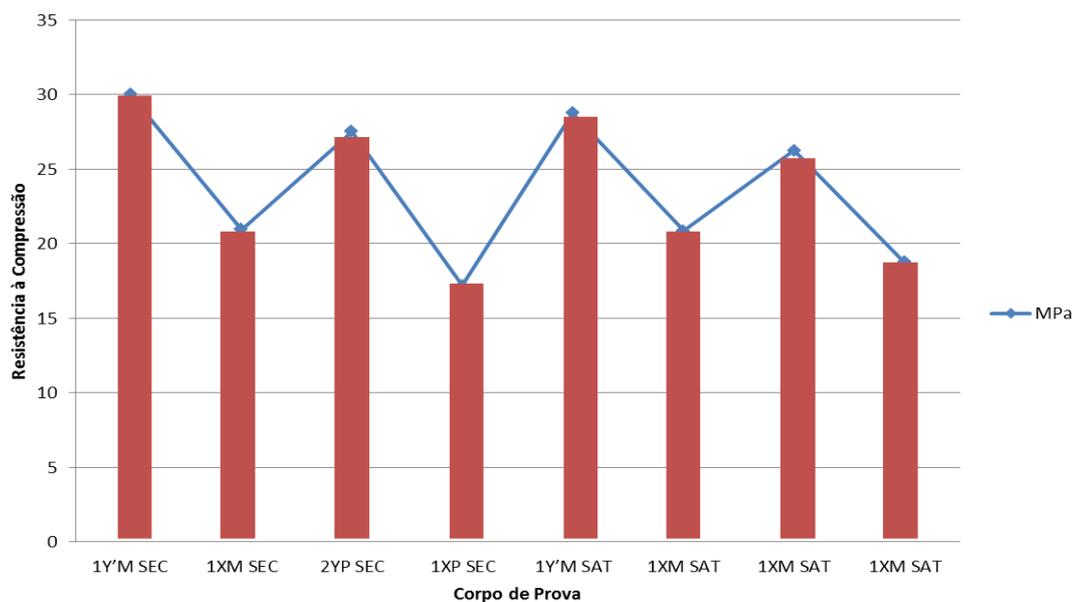


Gráfico 04: Resistência à compressão do Frechal

A Figura 55 apresenta os corpos-de-prova rompidos após o ensaio de compressão. Note-se que eles não chegam a quebrar propriamente. Trata-se de material que tem grande ductilidade e se deforma muito, mesmo após receber a carga máxima.



Figura 55: Corpos-de-prova rompidos após o ensaio de compressão

4.1.2.3 Fluência em flexão

Os resultados do ensaio de fluência do Frechal estão apresentados na Tabela 19 e 20. Os gráficos 05 e 06 apresentam o comportamento do corpo-de-prova testado.

Tabela 19: Dados do ensaio de fluência 1

TEMPO (dias)	Carga (kgf)	DEFORMAÇÃO (δ (mm))
0	17,3	2,75
0,05	17,3	5,7
0,05	57,9	9,25
4	57,9	15,89
4	97,45	18,25

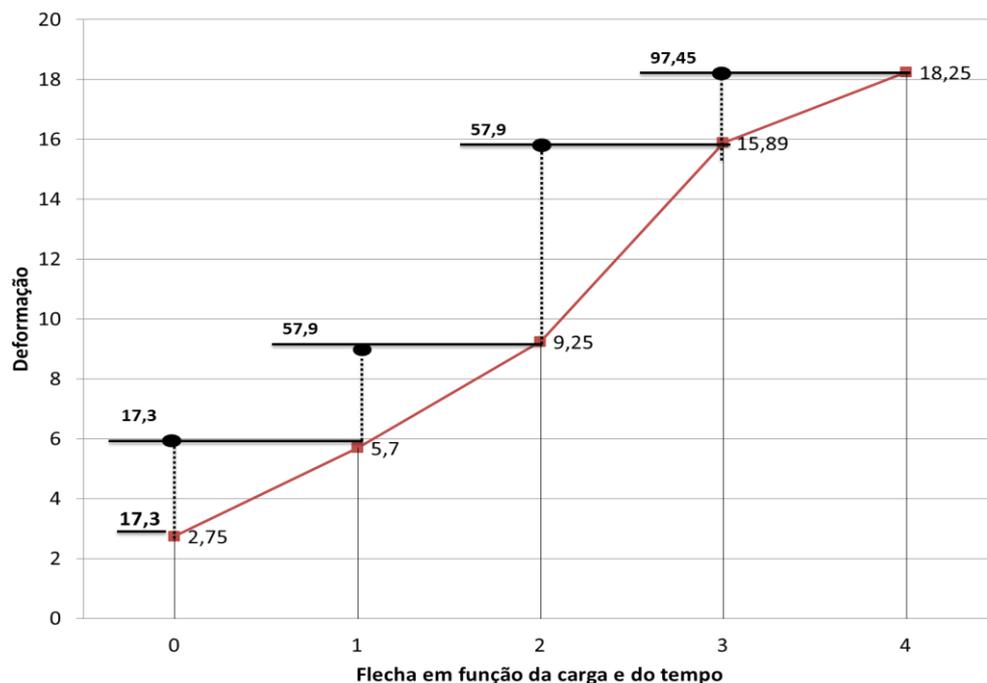


Gráfico 05: Comportamento da Fluência 1

O Gráfico 05 expõe a evolução das deformações sofridas pelo produto em estudo. Percebe-se, então, que o mesmo apresenta uma grande fluência em flexão, mostrando assim, que o mesmo não está apto para trabalhar em áreas sem apoio. Trata-se de um material muito flexível.

Seguindo com os dados para o ensaio de fluência em flexão, apresenta-se a seguir a Tabela 20 e o Gráfico 06, com a segunda e última parte do teste mencionado.

Tabela 20: Dados do ensaio de fluência 2

TEMPO (dias)	DEFORMAÇÃO (δ (mm))
2	0,6
3	1,76
6	2,91
7	3,57
9	3,72
10	4,09
13	4,73
14	4,93

A Tabela 20 indica a deformação sofrida no Frechal ao logo do tempo, e o Gráfico 06 apresenta o comportamento dessa variação para uma aplicação de carga de 97,45 kg sobre o produto em estudo. Vê-se que a flecha da viga no intervalo de 12 dias passa de 0,6 mm a 4,93 mm sem nenhum acréscimo de tensão. Isto indica que o material em flexão sob tensão não tem uma grande estabilidade.

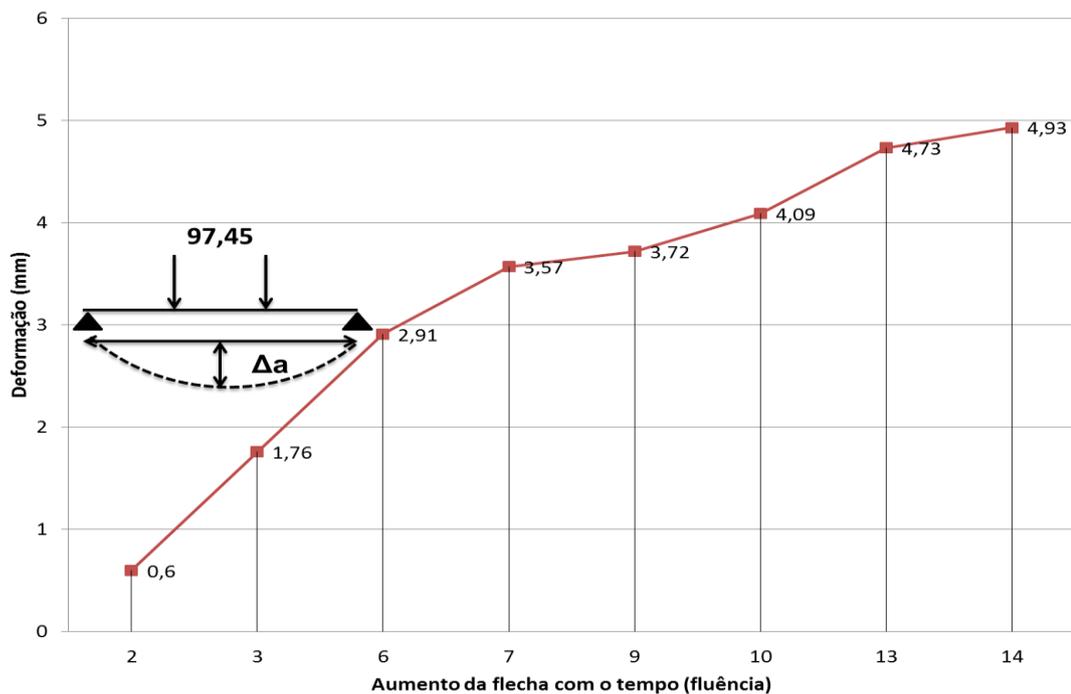


Gráfico 06: Comportamento da Fluência 2

A Figura 56 mostra como o Frechal ficou após o ensaio de fluência em flexão (lado esquerdo), e no lado direito quando não foi sujeito a nenhum teste. Esta imagem permite verificar como o perfil fletiu ao longo do tempo, e ficou com deformações permanentes.



Figura 56: Frechal no ensaio de fluência

4.1.2.4 Resistência com a temperatura de 60°C

Os resultados da resistência com a temperatura do Frechal podem ser observados na Tabela 21 e no Gráfico 07. O valor médio da resistência com a temperatura (60°C) foi de 18,2 MPa. A 30°C ele foi de 22,3MPa. O aumento da temperatura apresentou uma redução de resistência, mas continuando o Frechal com uma elevada resistência à compressão.

Tabela 21: Dados resistência com temperatura

CP	TAMANHO	PESO (g)	COMPRESSÃO 60°C (kgf)	MPa 60°C	MPa 30°C
Y1P	80X80X83	444,4	11400	17,81	26,25 (saturada)
Y2P	80X80X81	451,3	11600	18,13	18,75 (saturada)
Y3P	80X80X83	437,4	11000	17,19	17,19 (seca)
Y4P	80X80X90	444,0	12600	19,69	27,59 (seca)
Média				18,205	22.445

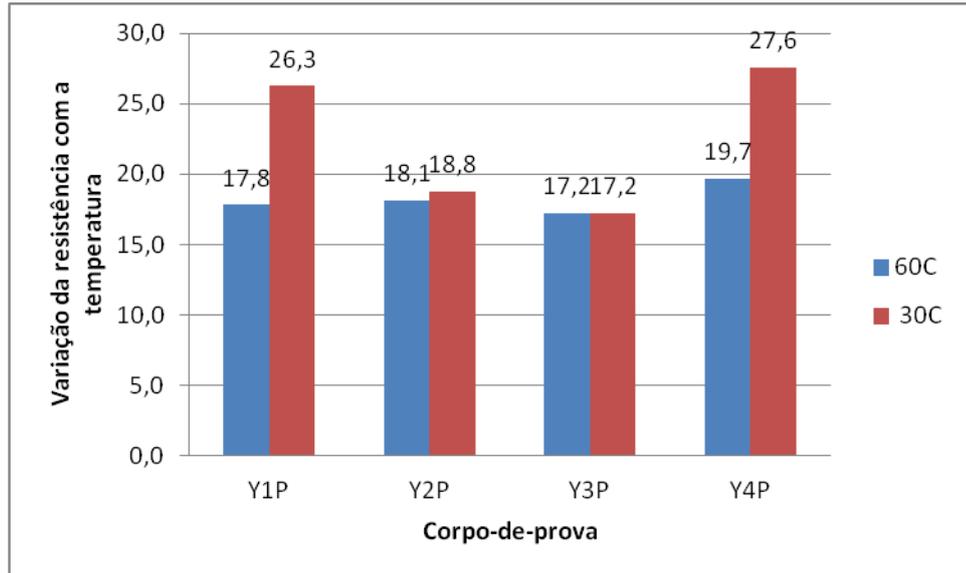


Gráfico 07: Variação da resistência com a temperatura

A Figura 57 apresenta os corpos-de-prova a 60⁰C após o ensaio.



Figura 57: Corpos-de-prova rompidos

4.1.2.5 Resistência ao apoio

O resultado do ensaio de resistência à carga concentrada aplicada sobre o Frechal está apresentado na Figura 58.



Figura 58: Ensaio de resistência ao apoio

Após a carga de 3000 kgf, deixou-se o aumento de carga livre, justamente para verificar qual seria a carga máxima que o perfil suportaria, e chegou-se a uma carga de 7.500 kgf sem que o produto apresentasse deformações consideráveis.

A Figura 59 apresenta o CP em estudo após o ensaio, observando-se que o mesmo não apresentou nenhuma deformação, corroborando, assim, com o estipulado na Tabela 13 de indicadores deste trabalho.



Figura 59: Frechal após ensaio de resistência ao apoio

4.1.2.6 Módulo de elasticidade

Os resultados dos ensaios realizados para encontrar o módulo de elasticidade do Frechal foram divididos em duas etapas, a primeira corresponde aos dados do corpo-de-prova X, o que pode ser observado no Gráfico 08. E a segunda parte, corresponde aos dados do corpo-de-prova Y observados através do Gráfico 09.

Após a verificação dos dados referentes ao CP X, foi determinado seu gráfico considerando a força aplicada ao corpo-de-prova (MPa) e por fim o percentual de Tensão (Strain).

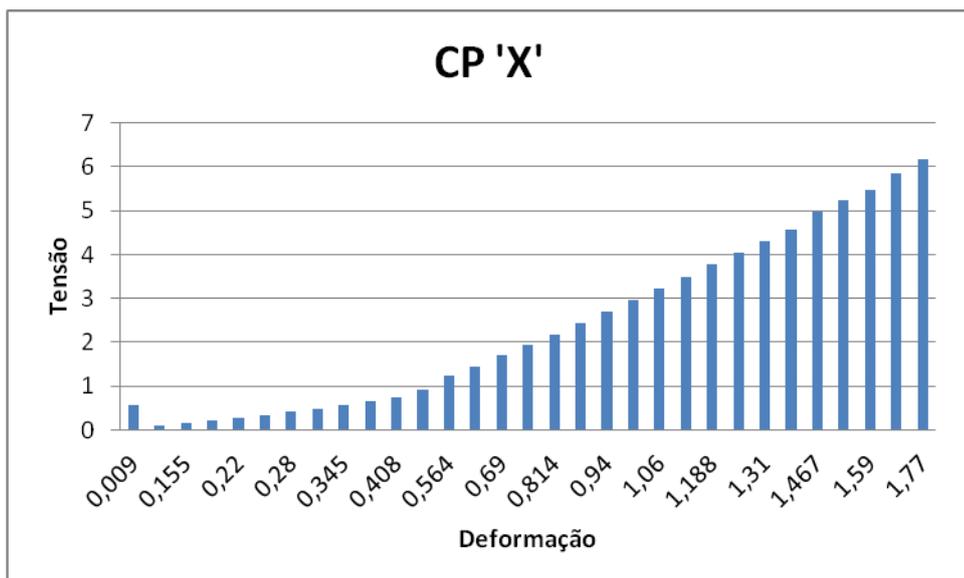


Gráfico 08: Ensaio para módulo de elasticidade CP "X" – Tensão em MPa, deformação em %

O software disponibiliza o valor do módulo de elasticidade, que no caso do corpo-de-prova X foi de 425,6MPa ou 0,43 GPa.

Os resultados do corpo-de-prova Y podem ser observados através do Gráfico 09. Tais resultados foram encontrados conforme estipulados para o corpo-de-prova X.

Mais uma vez, o software disponibiliza o valor do módulo de elasticidade, que no caso do corpo-de-prova Y foi de 436,7 MPa ou 0,44 GPa.

Em relação à tabela de indicadores estipulados nesta pesquisa, tem-se então que estes resultados (CPX e CPY) comprova que o perfil não é apto para trabalhar em vão livre, devido à presença de deformação que o mesmo sofre ao longo do tempo quando sujeito a uma força constante sem apoio, podendo dessa forma, o perfil vir a fletir até ocorrer o rompimento deste.

No entanto, como o Frechal é uma peça que trabalha apoiado diretamente na alvenaria, tal resultado não inviabiliza o uso do material com esse fim.

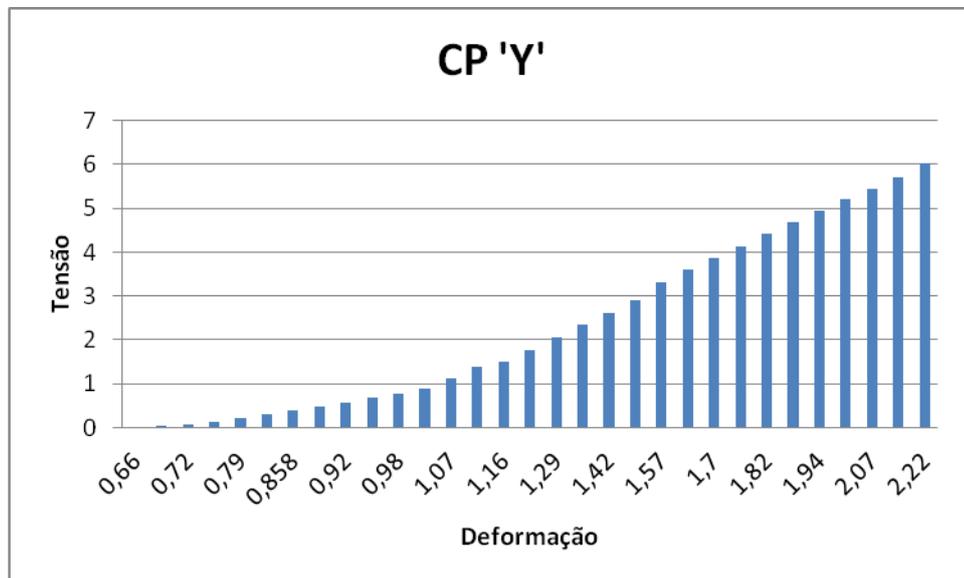


Gráfico 09: Ensaio para módulo de elasticidade CP “Y” – Tensão em MPa, deformação em %

A Figura 60 mostra os dois corpos-de-prova submetidos ao ensaio para determinação do módulo de elasticidade.



Figura 60: Ensaio para determinação do módulo de elasticidade em compressão

4.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Com a realização dos ensaios, foi comprovada a Viabilidade Técnica do plástico reciclado para fabricação do Frechal a ser utilizado na construção de habitação unifamiliar. Esta comprovação pode ser visualizada através da Tabela 22, na qual é possível observar que os valores obtidos através dos referidos ensaios são compatíveis com os indicadores considerados. O comportamento em flexão e o módulo de elasticidade indicam que o material não é apropriado para uso em vigas.

Tabela 22: Indicadores e resultados do Frechal

VARIÁVEIS	DEFINIÇÃO	INDICADORES	RESULTADOS
Propriedades Físicas do Material	Características Físicas do Material	<i>Massa específica</i>	X: 0,91 a 0,99
			Y: 0,93 a 1,02
		<i>Absorção de água</i>	≤ 10% 0,91% a 1,02%
Propriedades Mecânicas do Elemento	Características Mecânicas do Frechal	<i>Resistência à tração na flexão</i>	≥ 20 MPa 22,0MPa
		<i>Resistência à compressão</i>	> 20 MPa 23,7Mpa
		<i>Fluência em flexão</i>	Pouco flexível Muito flexível
		<i>Variação da Resistência na temperatura de 60° C</i>	≥ 20 MPa 18,2 MPa
		<i>Resistência à carga concentrada</i>	Ausência de deformação visível Ausência de deformação
	<i>Módulo de Elasticidade</i>	≥ 10 GPa	X: 0,43 GPa Y: 0,44 GPa

No entanto os resultados indicam que este novo produto, segundo o referencial teórico adotado no presente trabalho está apto a ser introduzido no mercado consumidor para ser utilizado como Frechal na construção das habitações unifamiliares.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi realizado em duas partes distintas. A primeira parte representa a contextualização teórica e se constitui em uma revisão da literatura sobre as três temáticas: Construção de Habitações Unifamiliares; Material Plástico e Desenvolvimento de Novos Produtos. A segunda parte descreve a pesquisa experimental realizada, com o fim de atestar a viabilidade do perfil de plástico para ser usado como Frechal.

Verificou-se que os plásticos adotados para a fabricação do Frechal pertencem à família dos Termoplásticos, especificamente os polietilenos de alta densidade (PEAD) e os polietilenos de baixa densidade (PEBD). Os ensaios realizados mostraram que a densidade está muito próxima da densidade da água, variando com a porosidade impregnada no produto. A absorção da água foi de apenas cerca de 1% após 24h de imersão. Isto quer dizer que o Frechal com ele feito pode receber chuva sem prejudicar sua estabilidade dimensional.

A resistência à compressão verificada aproxima-se a da madeira de classe C 20. Aos 60°C o impacto na resistência se faz sentir, mas ela ainda permanece próxima de 18 MPa, mais que suficiente para um Frechal.

Aplicando-se carga correspondendo ao apoio de uma peça de madeira sobre o Frechal chegou-se ao valor de 75kN (7,5 toneladas) nem que o material sofresse nenhuma deformação visível. Isto atesta seu bom desempenho.

Os ensaios de flexão mostraram que as peças ensaiadas são bem flexíveis, com baixo módulo de elasticidade. O ensaio de fluência indicou que elas são muito deformáveis quando apoiadas apenas nas extremidades. Isto indica que as peças não devem ser usadas em vigas. Porém, como o Frechal é apoiado continuamente sobre a parede, esse comportamento flexível não tem a menor importância.

Além de comprovar a viabilidade técnica do Frechal de plástico, foram evidenciadas outras vantagens decorrentes da aplicação do material estudado, tais como:

- Dimensão nivelada: é um perfil quadrado com dimensão estipulada, perfeitamente nivelada, característica esta, importante para a sua adoção na construção, pois tende a facilitar o trabalho dos operários uma vez que não necessita do uso de ferramentas para corte ou lixamento. A peça nivelada na

fabricação evita que no canteiro de obra haja acidentes de trabalho devido às farpas/ferpas e ao uso da ferramenta enxó (Figura 61) eliminando também a exposição do trabalhador à poeira.

- Medidas variadas: o Frechal de plástico pode assumir a dimensão estipulada no projeto arquitetônico devido ao seu processo de produção (extrusão).



Figura 61: Acidente provocado pelo uso da ferramenta Enxó

- É imune ao ataque de cupins: apresenta como matéria-prima o PEAD (Polietileno de alta densidade) e o PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), materiais estes que apresentam característica de não ser atacados por microorganismos.
- Maior resistência à ação da água: evitando problemas de apodrecimento e proporciona maior resistência ao longo do tempo.
- Ordem ambiental: a utilização do plástico como matéria-prima contribui para dar um destino apropriado a este poluente potencial e também a sua adoção na ICC, possibilita a redução das derrubadas de árvores, diminuindo o impacto ambiental do telhado. Portanto, sua utilização nas construtoras poderá tornar as empresas, que o incorporem ao seu processo, diferenciadas e inovadoras em relação aos concorrentes do setor no mercado.

5.1 RECOMENDAÇÕES FINAIS

O presente trabalho é apenas um início para outros experimentos mais avançados, no sentido de determinar novos produtos à base de plástico reciclado e/ou outros produtos não convencionais, para serem adotados em projetos estruturais de habitações unifamiliares.

Dessa forma, é possível promover a redução pela demanda por madeira e conseqüente a redução do desmatamento, além de uma maior procura por plásticos de pós-consumo para terem um destino ecológico, ao invés de servirem apenas como entulhos em aterros e poluentes em rios, mares e solos. Como conseqüência, tem-se um benefício tanto para o meio-ambiente (terra, animais, águas pluviais) como para a sociedade, pois estarão adotando produtos com viabilidade técnica que não poluem a natureza.

REFERÊNCIAS

ABIQUIM. **Associação Brasileira da Indústria Química.** (2010). Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/>>. Acesso em: 25 mar. 2012.

ABMACO. **Associação Brasileira de Materiais Compósitos.** 2012. Compósitos I: materiais, processos, aplicações, desempenhos e tendências. Disponível em: <www.abmaco.org.br>. Acesso em: 25 mar. 2012.

ABNT. **NBR 13230:2008 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 13230: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis: Identificação e simbologia, SÃO PAULO, 2008.

ABNT. **NBR 15792:2012 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 15792: Embalagem Índice de reciclagem: Definições e método de cálculo, SÃO PAULO, 2010.

ABNT. **NBR 7190: 1997.** ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro.

ABNT. **NBR 7447:1982.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7447 – Plásticos Rígidos. Determinação das propriedades de flexão. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT. **NBR 8514: 1984.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8514 – Plásticos – Determinação de Absorção de Água. Rio de Janeiro, 1984

ABNT. **NBR NM ISO 7500-1: 2005.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7500 – Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.

ALBUQUERQUE, R. B. **Sambladuras em tesouras de madeira tipo Howe.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

AMILTON. **Fases do projeto de produto.** 2011. Disponível em: <http://famanet.br/Ambientes/adm/PDF/md_amiltom3.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2012.

ARAÚJO FILHO, João Tomé de. **A customização em massa na construção civil, com foco na cadeia de suprimentos:** um estudo no subsetor de edificações. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2009.

ARAÚJO, T. D. P. **Notas de aulas construção de edifícios I telhados.** 2003. Disponível em: <http://www.multicaprepresentacoes.com/Informativos_PDF/manual_do_telhadista.pdf>. Acesso em: 01 de Junho de 2012.

BAÊTA, F.C. **Resistência dos materiais e dimensionamento de estruturas para construções rurais.** 1999. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/resistencia.PDF>>. Acesso em: 20 mar. 2012.

BARBOSA FILHO, A. N. **Projeto e desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Atlas, 2009.

BAXTER, M. **Projeto de produto: guia pratico para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1998.

BENTO, D. A. **Fundamentos de resistência dos materiais**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. 2003. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/96946573/CEFETSC-Apostila-Resistencia-Dos-Materiais-PARTE-1>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

BORGES, F. M. **Identificação de ponto passíveis de aprimoramento no modelo de planejamento de novos produtos e Pahl e Beitz, na perspectiva da segurança do usuário**. Dissertação de mestrado. Pós-graduação em engenharia de produção da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2008.

BOTELHO, M. H. C. **Manual de Projetos de Edificações**. São Paulo: PINI, 2009.

CAIXA. **Cadernos CAIXA Projeto Padrão Casa Populares**. 2006. Disponível em: <http://www.secaplhs.net.br/mdm3/Cadernos_CAIXA_Projeto_padr%C3%A3o_casas_populares.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2011.

CANDIAN, L. M. 2009. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-10042008-093848/pt-br.php>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos polímeros**. 2. ed. São Paulo: Artiber Editora, 2006.

CARDOSO, F. F. **Coberturas em Telhados**. 2000. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/51948905/Apostila-Cobertura-Pcc-436-Ano-2000>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S.C.. **Managing New Product and Process Development**. Boston: The Free Press, 1993.

CLUBE DOS ENGENHEIROS CIVIS, 2011. NBR 8950 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Disponível em: <http://groups.google.com/group/ClubedosEngenheirosCivis/browse_thread/thread/3b7f6565dc64d7e7/885aaca522bd13b6>. Acesso em: 30 abr. 2012.

CONSENZA, A. J. **Processo de desenvolvimento de novos produtos**. Disponível em: <<http://www.eaesp.fgvsp.br/subportais/GVcenpro/Publicacoes%20-%20Referencias%20-%20Prof%C2%BA%20Cosenza%20-%20Processo%20de%20Desenvolvimento%20de%20Novos%20Produtos.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2012.

COSTA, A. P.; ROMEIRO FILHO, E. **Projeto de uma cadeira de rodas popular: uma proposta de metodologia**. In: Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Florianópolis: IQFD & GDP/UFSC, 2001.

CRAWFORD, C.M.; BENEDETTO, C.A. **New Products Management**. 6. ed. Chicago: McGraw-Hill, 2000.

CRAWFORD, R. J. **Plastics engineering**. 2. nd. Edition. Belfast: Pergamon Press, 1987.

CRUZ, M. **Construir a casa**: elementos exploratórios para a compreensão dos conteúdos, do contexto e do processo de concepção arquitetônicas da habitação unifamiliar. 2006. Disponível em: <<http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/4629.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

GESUALDO, A. Romero. **Estruturas de Madeira. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia**. 2003. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~zacarias/Notas_de_Aula_Madeiras.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2011.

GRENN, D. L.; WILEMON, D. Accelerating Team Learning in New Product Development. **Proceedings of PICMET'99**, 1999.

GRIFFIN, A.; PRICE, R.L.; MALONEY, M.M.; VOJAK, B.A.; SIM, E.W. **Voices from the Field**: How Exceptional Electronic Industrial Innovators Innovate. Product Innovation Management, Vol. 26, p. 222-240, 2009.

GUIA AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO E RECICLAGEM DE MATERIAIS PLÁSTICOS (2011), Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos [recurso eletrônico] / Elaboração Técnica: Gilmar do Amaral... [et al.] ; Colaboradores: André H.C. Botto e Souza... [et al.]. – São Paulo: CETESB: SINDIPLAST, 2011. 90 p.: il. color. - - (Série P + L, ISSN 1982-6648).

IDOL, J. D.; LEHMAN, R. L. **The CRC handbook of mechanical engineering**. 2. nd. Ed. Nova Iorque: CRC, 2004..

IIDA, ITIRO. **Ergonomia Projeto e Produção**. Edit. Edgard Blucher Ltda, 2000.

INPI, Instituto Nacional da Propriedade Intelectual. 2003. Disponível em: www.inpi.gov.br. Acesso em 25 de Maio de 2012.

INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS (PLASTIVIDA). Sítio eletrônico do Instituto. Disponível em: <www.plastvida.org.br>. Acesso em: 14 dez. 2011.

IRIGARAY, H. A. **Gestão e desenvolvimento de produtos e marcas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2011.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. V. 01. São Paulo: IBRACON, 2005, 792 p.

KOTLER, P; KELLER, K. **Administração de Marketing**. São Paulo: Prentice Hall, 2006.

KRISHNAN, V. & ULRICH, K. **Product development decisions: a review of the literature.** Management Science, v. 47, n. 1, p. 1-21, Jan. 2001.

MAIA, S.F.D.; MELO, M.B.F.V. **Utilização do Frechal de plástico reciclado na construção de casas populares: impacto na saúde do trabalhador.** Occupational Safety and Hygiene. SHO 2013.

MANUAL DE CONSERVAÇÃO DE TELHADOS, 1999. Disponível em: <http://www.monumenta.gov.br/upload/Manual%20de%20conserva%E7%E3o%20de%20telhados_1168623041.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2012.

MARCZAK, R. J. 2004. **Polímeros como materiais de engenharia.** Porto Alegre. UFRGS.

MONTELLI, C.; BARROS. C. **MEM – Desenho de Madeiramento Desenho Arquitetônico.** Edificações. Desenho Arquitetônico. Disponível em: <<http://edificacoes.files.wordpress.com/2010/05/mem-desenho-de-madeiramento.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

MOREIRA, D. A. 2009. **Administração da Produção e Operações.** 2. ed. Cengage Learning, 2009.

MOREIRA, O.T. **Desenhos de Projetos I.** 2005. Disponível em: <<http://www.daciv.feciv.ufu.br/arquivos/ApostilaVolume1.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

MORETTI, R. S. **Critérios de urbanização para empreendimentos habitacionais.** 193p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

OLIVEIRA, F. L. 2000. **Apostila sobre Coberturas (Construção Civil – ENG 296).** Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/24989200/118676027/name/Cobertura+telhado.pdf>>. Acesso em: 29 mai.2012.

OLIVEIRA, M. **Um método para a obtenção de indicadores visando a tomada de decisão na etapa de concepção do processo construtivo: a percepção dos principais intervenientes.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach.** New York, Springer, 1996.

PAHL, Gerard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jorg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** São Paulo: Edgar Blücher, 2005. 411. p (Tradução da 6ª edição americana).

PARENTE, R. A. **Elementos Estruturais de Plástico Reciclado.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 2006.

PFAELZER, P.; KRIZACK, J. D. M. **Whirlwind Wheelchair International – WWI Model of Technology Transfer**. 2000. Disponível em: <http://www.whirlwindwheelchair.org/articles/current/article_c01/article_c01.htm>. Acesso em: 25 mai. 2012.

PRINGLE, B. BARKER, M. **Starting a waster plastics recycling business**. 2000. Disponível em: <www1.sac.ac.uk/info/External/Publications/WasteRecycling/>. Acesso em: 15 mar. 2011.

PUGH, S. **The Organisation of Design: An Interdisciplinary Approach to the Study of People, Process, and Contexts**, in *Creating Innovative Product Using Total Design*, Editora Addison-Wesley, 1996.

RODRIGUES, E. **Técnica das Construções**. 2000. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/eduardo/Cap%EDtulo6c-Coberturas.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2012.

RODRIGUES, L. E. M. 2006. **Resistência dos materiais**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo. Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/res/aula2.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2012.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C. e outros. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SALGADO, J. C.P. **Técnicas e praticas construtivas para edificação**. 2. ed. rev. São Paulo: Érica, 2009.

SEGANTINI, A. A. **Construção de Edifícios 1 estudos preliminares**. 2010. Disponível em: <<http://www.dec.feis.unesp.br/anderson/edificios1.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2012.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SLACK, N. **Administração da produção**. Nigel Slack, Stuart Chambers, Robert Johnston. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TAKAHASHI, S; TAKAHASHI, V.P. **Gestão de Inovação de Produtos: Estratégia, Processo, Organização e Conhecimento**. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

THIEME, J. **Perspective: the world's top innovation management scholars and their social capital**. *Journal of Product Innovation Management*, v. 24, n. 3, p. 214-229, 2007.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Product Design and Development**. New York: McGraw-Hill, 2000.

VASCONCELOS, E. G. **Estudo de Viabilidade**. 2011. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/56677056/analise-de-viabilidade-de-projeto>>. Acesso em: 20 mar. 2012.