

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU**

NATALIA MARTIN VIOLA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COMPÓSITO
PLÁSTICO-MADEIRA**

**Bauru
2012**

NATALIA MARTIN VIOLA

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COMPÓSITO
PLÁSTICO-MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Bauru – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Rosane Aparecida Gomes Battistelle.

Co-orientador: Prof. Dr. Ivaldo De Domênico Valarelli.

Bauru

2012

Viola, Natalia Martin.
Caracterização física e mecânica de compósito
plástico-madeira / Natalia Martin Viola, 2012
140 f.:Il.


Orientador: Rosane Aparecida Gomes Battistelle

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012

1. Polipropileno. 2. Madeira. 3. Extrusão. 4.
Injeção. 5. WPC. I. Universidade Estadual Paulista.
Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE NATALIA MARTIN, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 14 dias do mês de dezembro do ano de 2012, às 10:00 horas, no(a) ANFITEATRO DO STI DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. TOMAS QUEIROZ FERREIRA BARATA do(a) Departamento de Design / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ADILSON RENOFIO do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de NATALIA MARTIN, intitulada "PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COMPÓSITO PLÁSTICO-MADEIRA". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dra. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE


Prof. Dr. TOMÁS QUEIROZ FERREIRA BARATA


Prof. Dr. ADILSON RENOFIO

Dedico este trabalho ao meu esposo Rogers, pelo incentivo e dedicação. Aos meus pais, por sempre estarem acreditando e pela compreensão da minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha orientadora, a Prof. Dra. Rosane Aparecida Gomes Battistelle, pela orientação, pela oportunidade de amizade, companheirismo e incentivo;

Agradeço também ao meu co-orientador, Prof. Dr. Ivaldo De Domênico Valarelli pelas valiosas contribuições, apoio e pela confiança;

À UNESP em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Bauru;

Ao Prof. Dr. Adilson Renóbio, docente da Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP, pelos conselhos e apoio a essa pesquisa;

Agradeço ao Prof. Dr. Tomás Queiroz F. Barata, docente do Departamento de Design da FAAC – UNESP pelo incentivo, e valiosa contribuição à minha pesquisa.

Ao Sr. Sebastião Pereira da Silva, por ceder o material plástico reciclado utilizado nesta pesquisa e pelo grande exemplo de vida;

À empresa Pinhopó Moagem de Madeira, da cidade de Ponta Grossa-PR, por ter cedido a farinha de madeira e pelo incentivo à pesquisa;

Ao Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli, docente da Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, pela grande ajuda na confecção dos compósitos e testes laboratoriais e pelo apoio dado aos pesquisadores;

Aos colegas Susan, Osvaldo e Sr. Elias, funcionários do Laboratório de BIOCycle – UFSCar, pela ajuda na produção dos compósitos, dos corpos de prova e ensaios laboratoriais. A ajuda de vocês foi imprescindível!

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Grandini, Fabio Bossoi Vicente, José Roberto, Allan e Thiago do Laboratório de Anelasticidade e Biomateriais da Faculdade de Ciências da UNESP de Bauru;

Ao Sidney Carlos Rigo Junior, do Centro de Divulgação Científica e Cultural – CDCC da USP em São Carlos pela injeção dos produtos em wpc;

Aos colegas de mestrado Natasha e Edvaldo, pelo grande apoio e amizade;

À Letícia de Marchi, pelo companheirismo demonstrado durante os ensaios de laboratório;

Ao colega de trabalho Paulo César Santineli, pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis;

Ao Departamento de Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP de Bauru, pelo apoio demonstrado e concessão dos afastamentos para cursar o programa, os quais foram importantes para a conclusão da pesquisa;

À amiga Rosana Pereira Cardoso, pela amizade, incentivo, carinho e apoio nos momentos difíceis;

Agradeço a minha família pela confiança a mim depositada. Amo todos vocês!

“Descobri como é bom chegar quando se tem paciência.

*E para se chegar, onde quer que seja,
aprendi que não é preciso dominar a força, mas a razão.*

É preciso, antes de tudo, querer”.

(Amyr Klink)

RESUMO

O objetivo deste estudo foi produzir compósitos plástico-madeira (wpc) com farinha de madeira e o polímero de polipropileno reciclado, e a confecção de corpos de prova por meio do processo de injeção, para realizar as análises laboratoriais. O estudo resultou em quatro formulações para o compósito, sendo a matriz polimérica, no caso o polipropileno reciclado com adição de 10%, 20% e 30% de farinha de madeira composta pela mistura do *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*, mais uma composição com 100% polipropileno reciclado. A avaliação do compósito plástico-madeira foi realizada através de ensaios dos corpos de prova injetados. Os resultados dos ensaios mostraram a possibilidade de utilização da farinha de madeira para a produção de compósitos plástico-madeira, já que esta apresenta uma granulometria fina e, considerando que há pouco consumo para o material, são muitas vezes descartados na natureza. Também foi possível a utilização do polipropileno reciclado, constituindo assim, em mais uma vantagem de utilização dos resíduos de plásticos que poluem solo, rios e mares. O fato de não ter usado compatibilizante, é outra vantagem do estudo, pois este material apresenta forte influência no custo de produção, podendo inviabilizar o conceito da utilização de resíduos na sua composição. As composições do compósito com 30% de farinha de madeira mostraram o menor desvio padrão das composições, além de um resultado satisfatório no ensaio de impacto com 34,94J/m. Porém, o aumento no percentual de madeira pode diminuir a resistência à tração nos compósitos, pois, mesmo que a fibra de madeira in natura presente em média um módulo de 30GPa, o compósito depende da resistência de um agregado formado de fibras e outros elementos celulares, sofrendo influência da dispersão das fibras na matriz polimérica e da adesão entre as fases.

Palavras-chave: polipropileno, madeira, extrusão, injeção, wpc.

ABSTRACT

The aim of this study was to produce wood-plastic composites (wpc) with wood flour and polypropylene recycled polymer, and the making of specimens through the injection process, to perform the laboratory analyzes. The study resulted in four formulations for the composite, and the polymeric matrix, if recycled polypropylene with the addition of 10%, 20% and 30% of wood flour composed by mixing *Pinus taeda* and *Pinus elliotii*, over a composition with 100 % recycled polypropylene. The evaluation of wood-plastic composite was performed by testing the specimens injected. The test results showed the possibility of using wood flour for the production of wood-plastic composite, since it has a fine grain size, and considering that there is little material to consumption, are often disposed in nature. It was also possible to use recycled polypropylene and, thus, a further advantage in the use of plastic waste that pollutes the soil, rivers and seas. The fact of not having used compatibilizer, is another advantage of the study, because this material has a strong influence on the cost of production and may derail the concept of using waste in its composition. The compositions of the composite with 30% wood flour showed the lowest standard deviation of the compositions, and a satisfactory result in the impact test with 34.94 J/m. However, the increase in the percentage of wood can reduce the tensile strength in composites, because even if the wood fiber present in fresh medium one module 30GPa, the composite depends on the strength of an aggregate formed of fibers and other cellular elements , being influenced by fiber dispersion in the polymer matrix and the adhesion between the phases.

Keywords: polypropylene, wood, extrusion, injection, wpc.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das ações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa.....	20
Figura 2 – Índice de qualidade de aterro de resíduos no Estado de São Paulo no ano de 1997.....	24
Figura 3 – Índice de qualidade de aterro de resíduos no Estado de São Paulo no ano de 2011.....	24
Figura 4 – Composição do lixo no Brasil.....	28
Figura 5 – Estimativa em R\$, do custo de carga em compósitos no Reino Unido.....	33
Figura 6 – Vista de alguns itens produzidos pela empresa, em compósito plástico-madeira.....	37
Figura 7 – Gráfico da previsão para aplicações de wpc's, e compósitos de fibras naturais.....	38
Figura 8 – Mapa do desmatamento na Amazônia em 2012.....	42
Figura 9 – Classificação dos polímeros.....	46
Figura 10 – Classificação dos materiais de engenharia.....	46
Figura 11 – Amostra de embalagens plásticas encontradas em praias brasileiras.....	47
Figura 12 – Aspecto inicial do polipropileno.....	52
Figura 13 – Processo de lavagem do polímero.....	51
Figura 14 – Aspecto do polímero após ser lavado.....	52
Figura 15 – Estufa usada na secagem do material.....	51
Figura 16 – Fluxograma das principais atividades desenvolvidas para o compósito plástico-madeira.....	52
Figura 17 – Vista parcial da extrusora utilizada para a produção do compósito.....	54
Figura 18 – <i>Pellets</i> do compósito plástico-madeira em 30%, 20%, 10% FM e 100%PP, respectivamente.....	55
Figura 19 – Máquina Injetora utilizada para a produção do compósito.....	57
Figura 20 – Conjunto de corpos de prova para teste de impacto e para teste de tração.....	58
Figura 21 – Conjunto de placas de 6cm ²	58
Figura 22 – Corpos de prova separados individualmente.....	59
Figura 23 – Vista parcial da estufa utilizada.....	61
Figura 24 – Vista superior e dimensões em mm, do corpo de prova para o ensaio de tração.....	62
Figura 25 – Equipamento utilizado para o ensaio de tração.....	63
Figura 26 – Modelo e medidas do corpo de prova para o ensaio de impacto.....	65
Figura 27 – Exemplo de máquina para o ensaio de impacto de pêndulo.....	66

Figura 28 – Vista parcial da entalhadora usada para entalhar os corpos de prova conforme a ASTM D-256-00.	67
Figura 29 – Exemplo do plastômetro utilizado no ensaio de índice de fluidez.	69
Figura 30 – Desenho esquemático de microscópio óptico.	70
Figura 31 – Vista parcial do microscópio eletrônico de varredura.	72
Figura 32 – Vista parcial das amostras do wpc no equipamento de ensaio de envelhecimento.	74
Figura 33 – Vista parcial do equipamento Wheater Ometer 2.	75
Figura 34 – Processo feito para cortar os corpos de prova.	77
Figura 35 – Corpos de prova imersos em água destilada e corpos de prova sendo pesados.	78
Figura 36 – Gráfico da média dos valores de absorção de água.	79
Figura 37 – Gráfico da média dos valores de inchamento em espessura.	81
Figura 38 – Teste de tração em corpos de prova com 30%FM.	82
Figura 39 – Teste de tração em corpos de prova com 100%PP.	83
Figura 40 – Curva Tensão vs Deformação em Tração – 10% de farinha de madeira.....	85
Figura 41 – Corpos de prova utilizados no ensaio de impacto.	87
Figura 42 – Equipamento utilizado para o ensaio de impacto.	88
Figura 43 – Micrografia do compósito de 10%FM em ampliações respectivas de 100x e 500x.	92
Figura 44 – Micrografia do compósito de 20%FM em ampliações respectivas de 100x e 500x.	92
Figura 45 – Micrografia do compósito de 30%FM em ampliações respectivas de 100x e 500x.	92
Figura 46 – Micrografia do corpo de prova com 100%PP, em ampliação de 100x.	93
Figura 47 – Amostra sendo preparada para o recebimento da camada de íons.	94
Figura 48 – MEV do compósito de 10%FM em ampliação de 500x e 7.250x, respectivamente.	95
Figura 49 – MEV do compósito de 20%FM em ampliação de 500x e 7.250x, respectivamente.	95
Figura 50 – MEV do compósito de 30%FM em ampliação de 500x e 7.250x, respectivamente.	96
Figura 51 – Vista parcial das amostras do compósito no equipamento de envelhecimento artificial.	98
Figura 52 – Vista parcial das amostras do compósito e de 100%PP, no equipamento de envelhecimento artificial.....	98
Figura 53 – Detalhe dos corpos de prova no equipamento de envelhecimento artificial.....	99

Figura 54 – Pesagem do compósito antes da produção do objeto.....	100
Figura 55 – Vista parcial da injetora utilizada na produção do Tangram.	101
Figura 56 – Vista do material sendo expelido pelo bico injetor.....	102
Figura 57 – Vista do produto com rebarbas provenientes de problemas na injeção.....	103
Figura 58 – Vista das deformações superficiais do produto com o compósito de 30%FM.....	103
Figura 59 – Kit contendo produtos feitos com o compósito.	105
Figura 60 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 100%PP.	120
Figura 61 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 10%FM.....	121
Figura 62 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 20%FM.....	122
Figura 63 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 30%FM.....	123
Figura 64 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 10%FM+90%PP.	130
Figura 65 – Micrografia superficial em ampliação de 200x do corpo de prova de 10%FM+90%PP.	130
Figura 66 – Micrografia superficial em ampliação de 500x do corpo de prova de 10%FM+90%PP.	131
Figura 67 – Micrografia superficial em ampliação de 200x do corpo de prova de 20%FM+80%PP.	131
Figura 68 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 20%FM+80%PP.	132
Figura 69 – Micrografia superficial em ampliação de 500x do corpo de prova de 20%FM+80%PP.	132
Figura 70 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 30%FM+70%PP.	133
Figura 71 – Micrografia superficial em ampliação de 200x do corpo de prova de 30%FM+70%PP.	133
Figura 72 – Micrografia superficial em ampliação de 500x do corpo de prova de 30%FM+70%PP.	134
Figura 73 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 100%PP.	134
Figura 74 – Micrografia superficial em ampliação de 100x da borda do corpo de prova de 100%PP.....	135
Figura 75 – MEV em ampliação de 3.000x do corpo de prova de 10%FM.....	137
Figura 76 – MEV em ampliação de 2.550x do corpo de prova de 10%FM.....	137
Figura 77 – MEV em ampliação de 3.000x do corpo de prova de 20%FM.....	138
Figura 78 – MEV em ampliação de 3.000x do corpo de prova de 30%FM.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicações para o wpc.	34
Tabela 2 – Valores de densidade e resistência à flexão de alguns compósitos.	36
Tabela 3 – Proporção de elementos celulares que compõem a madeira.	40
Tabela 4 – Evolução do uso de elementos estruturais pelo homem.....	44
Tabela 5 – Formulações para produção do compósito.....	53
Tabela 6 – Programação da extrusora para todas as formulações do compósito.	55
Tabela 7 – Programação da injetora para a confecção do conjunto tipo Charpy.....	56
Tabela 8 – Programação da injetora para a confecção do conjunto de placas.....	57
Tabela 9 – Média dos valores obtidos pelo teste de absorção de água (em percentual).....	78
Tabela 10 – Média dos valores obtidos pelo teste de inchamento em espessura (em milímetros).....	80
Tabela 11 – Média dos resultados obtidos para o teste de tração.....	83
Tabela 12 – Desvio Padrão dos resultados para o teste de tração.	84
Tabela 13 – Resultados da resistência ao impacto para as quatro formulações.	89
Tabela 14 – Resultados ensaio Índice de Fluidez	90
Tabela 15 – Condições do ensaio de envelhecimento artificial acelerado.....	97
Tabela 16 – Quantidade de objetos produzidos para cada Kg de compósito.	104
Tabela 17 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.	107
Tabela 18 – Média dos valores obtidos pelo teste de absorção de água (em gramas).	118
Tabela 19 – Média dos valores obtidos pelo teste de inchamento em espessura (em milímetros).....	118
Tabela 20 – Resultados do ensaio de tração para 100%PP.	120
Tabela 21 – Resultados do ensaio de tração para 10%FM.....	121
Tabela 22 – Resultados do ensaio de tração para 20%FM.....	122
Tabela 23 – Resultados do ensaio de tração para 30%FM.....	123
Tabela 24 – Resultados do ensaio de impacto para 100%PP.....	125
Tabela 25 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 100%PP.....	125
Tabela 26 – Resultados do ensaio de impacto para 10%FM.	126
Tabela 27 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 10%FM.	126
Tabela 28 – Resultados do ensaio de impacto para 20%FM.	127
Tabela 29 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 20%FM.	127
Tabela 30 – Resultados do ensaio de impacto para 30%FM.	128
Tabela 31 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 30%FM.	128

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
1.2 Justificativa	17
1.3 Estrutura e limites da pesquisa	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 Resíduos sólidos	21
2.2 Coleta Seletiva	26
2.3 Compósitos	30
2.3.1 Compósito plástico-madeira	32
2.4 Utilização da Madeira	39
2.5 Utilização dos Plásticos	43
3 MATERIAL E MÉTODO	49
3.1 Materiais	49
Farinha de madeira	50
Polipropileno	50
3.2 Métodos	52
3.2.1 Método do processo de extrusão do wpc	54
3.2.2 Método do processo de injeção do wpc	56
3.2.3 Metodologia para o ensaio de absorção de água e inchamento em espessura, norma ASTM D-570-98.....	59
3.2.4 Metodologia para o ensaio de propriedades de tração, norma ASTM D-638-10	61
3.2.5 Metodologia para o ensaio de determinação da resistência ao impacto, norma ASTM D-256-00.....	64
3.2.6 Método do ensaio de índice de fluidez, norma ASTM D-1238-10	68
3.2.7 Método da micrografia de superfície	70
3.2.8 Método da microscopia eletrônica de varredura.....	71
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	76
4.1 Resultados do ensaio de absorção de água e inchamento em espessura	76
4.1.1 Absorção de água	76
4.1.2 Inchamento em espessura	80

4.2	Resultados do ensaio de tração.....	81
4.3	Resultados do ensaio de impacto por pêndulo	86
4.4	Resultados do ensaio de índice de fluidez.....	90
4.5	Resultados da micrografia de superfície.....	91
4.6	Resultados da microscopia eletrônica de varredura (MEV)	94
4.7	Resultados do Ensaio de Envelhecimento Artificial por Radiação	
	Ultravioleta (UV).....	97
5	APLICAÇÃO DO WPC	100
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
	ANEXOS.....	116
	ANEXO 1RELAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA.....	117
	ANEXO 2RELAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO.	119
	ANEXO 3RELAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE IMPACTO	124
	ANEXO 4RELAÇÃO DOS RESULTADOS DA MICROGRAFIA DE SUPERFÍCIE.	129
	ANEXO 5RELAÇÃO DOS RESULTADOS DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.	136

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial trouxe diversas mudanças no modo de pensamento e produção das sociedades, e principalmente no modo industrial de produzir mercadorias. O conhecimento gera produção que, conseqüentemente gera novos conhecimentos, desenvolvimento e novas tecnologias, porém, também se geram resíduos e surgem novos problemas (ORTIGOZA e CORTEZ, 2009).

Aumentos descontrolados nas demandas e no uso de reservas naturais, trazendo conseqüências desastrosas ao planeta emergiram com o desenvolvimento das tecnologias modernas. Desequilíbrio de ecossistemas e desastres ambientais tem despertado um grande interesse de cientistas e da sociedade em geral, pois seus efeitos globais já são associados à forma destrutiva de ação do ser humano sobre a natureza (MARINELLI, *et al.* 2008).

Alguns materiais extraídos da natureza se tornam resíduos industriais devido à má utilização e sobras do processo industrial, podendo ser descartados no meio ambiente ou utilizados pela mesma indústria ou ainda, enviados a alguma outra indústria através de intercâmbio de resíduos. Existem três alternativas para o material descartado – reutilização, reciclagem e descarte. Na reutilização, os produtos são usados novamente para a mesma finalidade ou podem ser colocados para um segundo uso. A reutilização amplia a vida do produto original reduzindo os resíduos. Por outro lado, a reciclagem envolve a coleta dos resíduos e processamento em novos produtos, seguindo para o descarte, quando não há possibilidade de nenhuma das soluções anteriores (VESILIND e MORGAN, 2011).

Apesar dos esforços que estão sendo feitos pelas indústrias para a reciclagem de resíduos, eles ainda tem pouco valor agregado. É contraditório o consumo da madeira que, para a fabricação de móveis e utilização na construção civil são usadas madeiras nobres e as suas sobras levadas para a incineração. A madeira virgem tem grande valor estético, mas as suas sobras perdem valor. As sobras da madeira ainda são pouco utilizadas como matéria prima na fabricação de novos produtos, porém existem possibilidades de reaproveitamento dos resíduos de

madeira de modo que sua utilização agregue um valor estético, econômico e que tenha utilidade para a sociedade, possibilitando assim maiores cuidados com o meio ambiente.

A ecologia industrial traz conceitos de reaproveitamento destes resíduos procurando o aproveitamento deste material e agregando um novo valor a ele (MANZINI e VEZZOLI, 2008). Teixeira (2005) desenvolveu um compósito baseado em conceitos de ecologia industrial e eco-design que procura atender os requisitos ambientais e atuando no ciclo de vida de um produto. O compósito ecológico elaborado a partir de resíduo de indústrias madeireiras mostrou ter boas propriedades físicas e mecânicas.

Wang e Morrel (2003) realizou estudos de absorção de água pelo compósito plástico-madeira e constatou que a absorção de água no compósito depende do tamanho e geometria das partículas de madeira e da presença de outros compósitos repelentes a água. Mas na maioria das formulações, o wpc apresenta menor absorção de água quando comparada com a madeira maciça, devido ao fato de conter polímeros que são repelentes por natureza.

Outra vantagem do wpc é a sua composição, onde são elaborados a partir de resíduos e materiais reciclados e também são recicláveis no final de sua vida útil (WINANDY *et al.*, 2004).

Segundo Savastano (2000), um material deixa de ser resíduo através de sua valorização como matéria prima na obtenção de novos produtos. Do ponto de vista do produtor, onde o resíduo passa a ser tratado como subproduto do processo produtivo, esta é uma ótima alternativa de negócios, onde ele deixará de se preocupar com os resíduos, como rejeito, e passará a tratá-lo como matéria prima, produzindo produtos a custos mais baixos ou gerando renda extra na venda dos mesmos.

Considerando estas questões acima, levanta-se o seguinte problema: é possível a produção do compósito plástico-madeira sem a utilização de aditivos ou compatibilizantes?

O presente trabalho tem por objetivo a produção do compósito plástico-madeira em diferentes traços, além de apresentar suas características com base nos ensaios de tração, absorção de água, inchamento em espessura, impacto, índice de fluidez, envelhecimento, micrografia de superfície, microscopia eletrônica de varredura e análise química do polímero, também busca sugerir aplicações para o material. O objetivo do trabalho é de buscar conceitos e aplicações compatíveis que tornem o produto realmente eco-eficiente, e que garanta não somente sua qualidade técnica, como também seu bom desempenho ambiental.

1.1 Objetivos

O objetivo principal da presente pesquisa é produzir wpc empregando quatro traços entre polipropileno e farinha de madeira *Pinnus* com a utilização do polímero de origem reciclada, e não está previsto o uso de agentes compatibilizantes para a produção do wpc;

Como objetivos secundários, deseja-se:

- a) Analisar em laboratório os parâmetros físicos e mecânicos do material obtido através de ensaios laboratoriais de acordo com as normas ASTM D-570-98, ASTM D-638-10, ASTM D1238-10, ASTM G-155-05 e ASTM D-256-00, visando apresentar os resultados a fim de contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias na fabricação de novos produtos;
- b) Caracterizar o compósito e comparar os resultados obtidos com diferentes compósitos já pesquisados por outros pesquisadores;
- c) Produzir um produto, através do processo de injeção, para visualizar a aplicação do wpc.

1.2 Justificativa

O meio ambiente é um tema atual que faz parte do vocabulário de políticos, da imprensa, das ONGs, líderes sindicais e dos cidadãos de um modo geral. No âmbito empresarial, a preocupação com o meio ambiente ainda é recente, embora não faltem empresas que buscaram práticas ambientalmente saudáveis quando o assunto ainda estava começando a despertar interesse fora dos círculos restritos de especialistas. Porém, para a maioria das empresas, essa preocupação ainda não se transformou em práticas administrativas efetivas (BARBIERI, 2007).

A América do Sul sofreu a maior perda em volume de florestas entre os anos de 2000 e 2010. Ao todo, a região perdeu quatro milhões de hectares ao ano, sendo a principal causa, os desmatamentos das florestas nativas no Brasil. Em contrapartida, as taxas de desmatamento estão diminuindo neste início de década baseadas no aumento do número de novos plantios, como reflorestamentos. Nos anos 1990, o planeta perdeu 8,3 milhões de hectares por ano. Nesta década, a redução na área de florestas mundiais caiu para 5,2 milhões de hectares por ano representando cerca de 40% no desmatamento (REMADE, 2011).

O processo de reciclagem pode auxiliar na preservação do meio ambiente, que se apresenta com uma importância muito relevante durante o desenvolvimento de um projeto que contemple o baixo impacto ambiental e que considere o ciclo de vida dos materiais contidos nos produtos. Nem todos os materiais são reciclados do mesmo modo que os outros, pois as características dos materiais reciclados podem ser diferentes das dos materiais virgens. Os polímeros termoplásticos são recicláveis termicamente, mas perdem parte das suas propriedades (MANZINI e VEZZOLI, 2008).

A reciclagem, ou recuperação do material envolve a coleta dos resíduos e o seu processamento em novos produtos, como por exemplo, transformar embalagens plásticas em bancos de jardim ou roupas, converter latas de alumínio usadas em novas. Os fabricantes podem aprimorar a viabilidade da reciclagem e recuperação

dos materiais ao produzirem produtos simples e baratos de recuperar ou reciclar (VESILIND e MORGAN, 2011).

Mediante as premissas expostas, houve o interesse do estudo pelo reaproveitamento de resíduos de madeira e plástico para produção do wpc. O resíduo de madeira, objeto de estudo desta pesquisa, é oriundo de recursos florestais, sendo que desta forma, sua utilização deste resíduo como matéria prima para novos produtos auxilia na preservação dos recursos naturais, diminuindo o desmatamento das florestas. Tais resíduos apresentam-se em grande volume, tendo origem em processos de pré-uso como em indústrias de chapas e móveis, além dos processos de pós-uso, como a destinação de móveis e utilidades domésticas já usados, que estimulam o desenvolvimento de pesquisas de aproveitamento dos mesmos resíduos em outros processos produtivos.

Os polímeros são largamente utilizados em embalagens, como nos copos plásticos e outros materiais descartados diariamente, cuja decomposição leva-se décadas, chegando aos cursos dos rios e mares, além de poluir o solo durante este tempo de decomposição. A fabricação do compósito plástico-madeira ajudaria a reduzir a quantidade de material plástico descartado, aumentando assim seu tempo de vida útil. O polímero utilizado no compósito age contra o ataque dos fungos e parasitas da madeira, além de ser um ótimo repelente à água, promovendo durabilidade para o material.

Este estudo procura utilizar os conceitos da ecologia industrial, que apresentam alguns requisitos para a concepção de novos materiais, levando em consideração as necessidades tanto do ser humano quanto do meio ambiente, de forma a reduzir os impactos ambientais. Também leva em consideração o princípio tecnológico do wpc que oferece alternativa para o aproveitamento dos resíduos de madeira e plásticos como matéria prima na fabricação de novos produtos.

1.3 Estrutura e limites da pesquisa

Esta pesquisa está classificada de acordo com sua natureza como pesquisa aplicada, pois objetiva a geração de novos conhecimentos para aplicação prática e dirigida para a solução de problemas específicos. Com abordagem do problema de forma quantitativa, pois se constitui como dados quantitativos os valores colhidos no ambiente de pesquisa, tais como resultados de testes físicos e mecânicos do compósito. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, pode ser classificada em pesquisa bibliográfica, por utilizar de materiais já publicados, tais como livros, artigos de periódicos e material disponibilizado em sites específicos. Também pode ser definida como pesquisa experimental, pois determinou-se um objeto de estudo, submetendo-o a investigação e analisando-o em suas características físicas e mecânicas (GIL, 1999; SILVA e MENEZES, 2005).

A abordagem metodológica será dividida em cinco etapas:

1ª Etapa: Definir e preparar o material a ser utilizado;

2ª Etapa: Desenvolver, em laboratório, o compósito em quatro traços distintos, com percentuais de madeira em 10%, 20% e 30% e polipropileno em 70%, 80%, 90% e 100%.

3ª Etapa: Processar, em laboratório, o compósito desenvolvido, moldando três modelos de corpos de prova para cada traço;

4ª Etapa: Realizar os testes de acordo com as normas ASTM D-638-10, ASTM D-256-00, ASTM D-570-98 e ASTM D-1238-10 nos corpos de prova moldados.

5ª Etapa: Descrever as características do wpc, de acordo com os resultados dos testes laboratoriais, comparando-os com compósitos já pesquisados por outros autores.

Pode-se verificar o esquema estabelecido para o desenvolvimento do trabalho, na Figura 1.

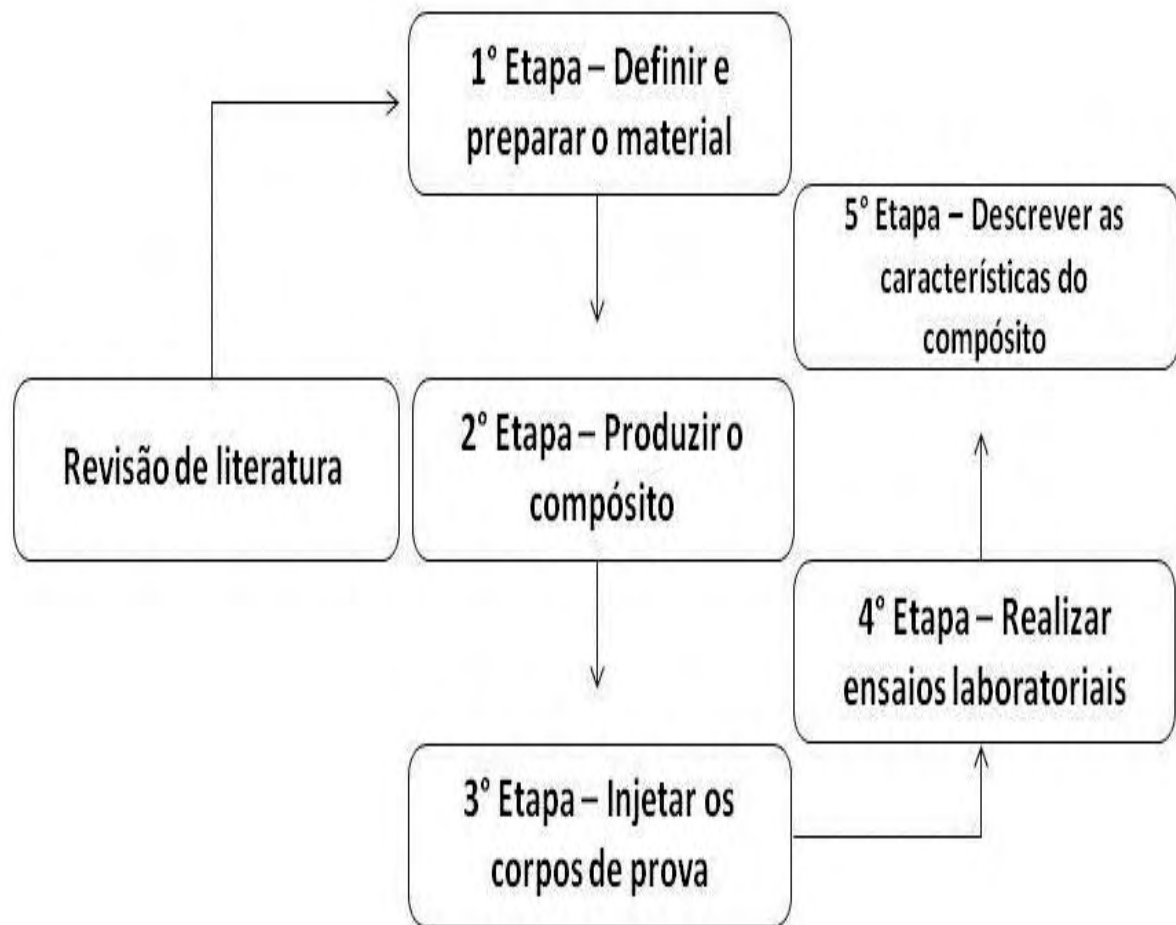


Figura 1 – Fluxograma das ações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa bibliográfica está restrita aos principais conceitos correlacionados ao tema compósito plástico-madeira, e sua contribuição ambiental, além das possíveis aplicações para o material.

2.1 Resíduos sólidos

Na sociedade atual de consumo, os valores e a posição social de um indivíduo podem ser influenciados pela quantidade de bens que ele possui. É este consumo que faz aflorar o sentimento de pertencer a um determinado grupo, cujos parâmetros definem o envolvimento nas redes sociais. O consumismo pode ser considerado um símbolo das economias capitalistas, com fartura em bens de consumo, e que pode ser um dos principais problemas das sociedades industriais modernas. Este padrão de consumo é ambientalmente insustentável (ORTIGOZA e CORTEZ, 2009).

O consumo desenfreado pode causar aumento significativo na geração de resíduos, um grande problema, principalmente para a correta destinação dos mesmos, que normalmente acabam em lixões, muitas vezes ilegais, aumentando a poluição do meio ambiente.

No Brasil, o serviço de limpeza urbana foi iniciado oficialmente em 25 de novembro de 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, capital do Império nesta data. O Imperador D. Pedro II assinou o Decreto nº 3024, aprovando o contrato de "limpeza e irrigação" da cidade, que foi executado por Aleixo Gary de

cujo sobrenome origina-se a palavra gari, que hoje se denomina os trabalhadores da limpeza urbana em muitas cidades brasileiras (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Segundo a NBR 10004:2004, os resíduos sólidos podem ser de origem industrial, hospitalar, agrícola, comercial, doméstica, de serviços e de varrição. São classificados como resíduos no estado sólido ou semi-sólido, sendo que também estão incluídos nestas características o lodo proveniente de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição e alguns líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou exijam soluções técnicas e economicamente inviáveis (ABNT, 2004).

Segundo o Programa Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), resíduo sólido é definido como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”. (BRASIL, 2010).

De acordo com o Fundo de População das Nações Unidas (2011), o Brasil tem cerca de 90% da população vivendo em áreas urbanas, com um total da população em 196,7 milhões, porém as infraestruturas e os serviços não acompanharam o ritmo do crescimento das cidades. Se os resíduos sólidos forem descartados incorretamente, podem ocorrer danos, quer seja em relação à saúde pública e à qualidade ambiental, os aspectos estéticos ou de turismo.

Os resíduos sólidos urbanos são geralmente lançados em aterros sanitários, e muitas vezes, materiais que poderiam ser reciclados estão misturados com matéria orgânica, impossibilitando a sua identificação e separação.

A NBR 10004:2004 classifica os resíduos sólidos em:

- **Classe I** – Perigosos: resíduos que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar:

a) riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;

b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

- **Classe II** – Não perigoso: esses resíduos subdividem em resíduos de classe IIA (não inertes) e resíduos classe IIB (inerte). Como resíduo de restaurante (restos de alimentos), resíduo de madeira, sucata de metais ferrosos, resíduo de materiais têxteis, sucata de metais não ferrosos (latão etc.), resíduos de minerais não-metálicos, resíduo de papel e papelão, areia de fundição, resíduos de plástico polimerizado, bagaço de cana, resíduos de borracha e outros resíduos não perigosos.

- **Classe II A** – Não Inerte: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Esses resíduos podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- **Classe II B** – Inerte: não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de água potável, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor quando amostradas de forma representativa.

De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares da CETESB (2012), numa cidade de 200 a 500mil habitantes, são gerados cerca 0,6kg de resíduos sólidos domiciliares por habitante diariamente.

Nas Figuras 2 e 3, pode-se verificar a distribuição dos aterros de resíduos no estado de São Paulo e o índice de qualidade dos mesmos.

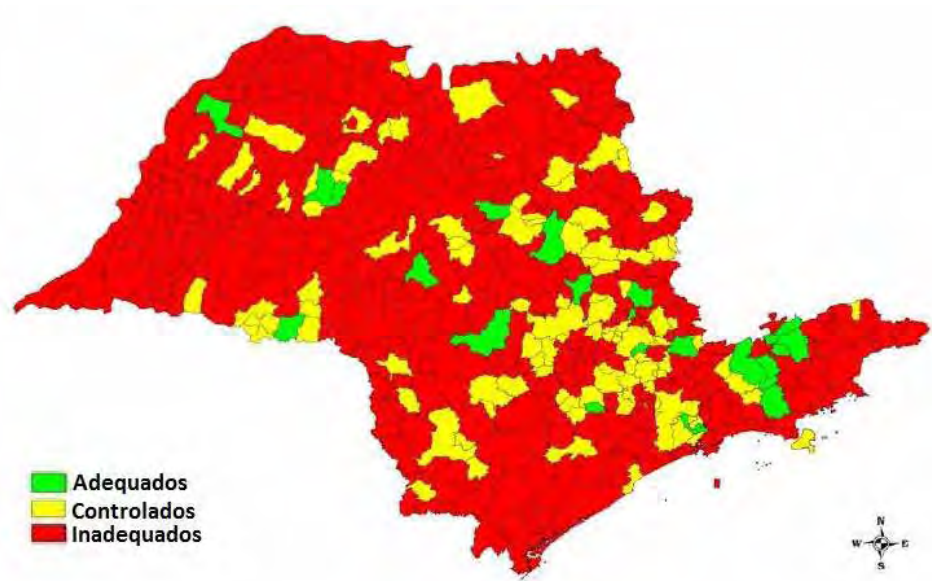


Figura 2 – Índice de qualidade de aterro de resíduos no Estado de São Paulo no ano de 1997.
Fonte: CETESB, 2012.

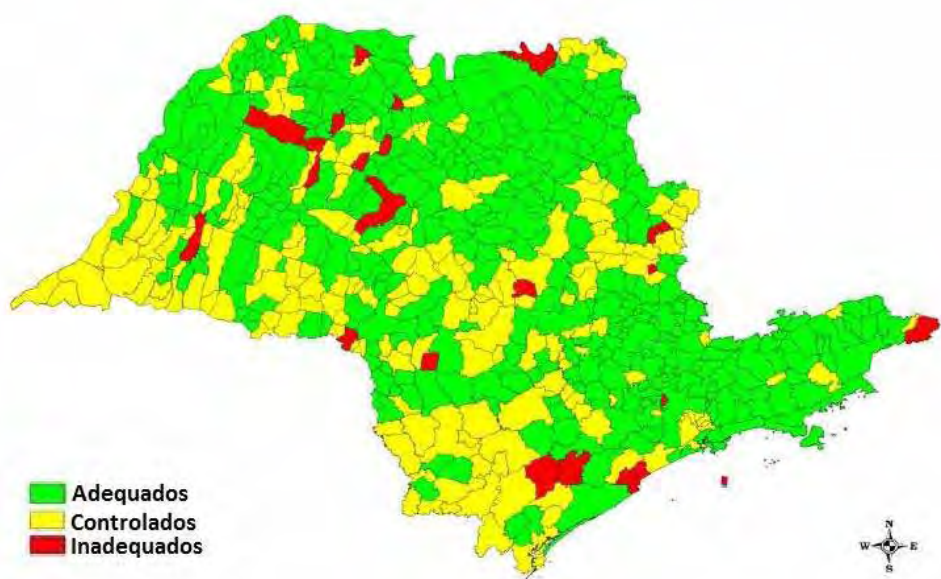


Figura 3 – Índice de qualidade de aterro de resíduos no Estado de São Paulo no ano de 2011.
Fonte: CETESB, 2012.

Verifica-se nas Figuras 2 e 3, que no ano de 1997 havia um grande número de aterros inadequados no Estado de São Paulo e poucos eram os aterros adequados. Já no ano de 2011 percebe-se que, grande quantidade desses aterros

se adequaram e alguns estão controlados, sendo os aterros inadequados, uma pequena parte. Com a promulgação da lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) está previsto que haja uma mudança no paradigma da gestão dos resíduos sólidos, que amplia a responsabilidade da cadeia produtiva até a destinação final do produto ambientalmente adequada, de acordo com o capítulo II, art. 3º VII:

“[...] destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010).

Ou seja, o gerador do resíduo é o seu responsável até a sua destinação final, tendo que observar as normas de descarte correto e procurar os meios legais para o descarte ou reaproveitamento destes resíduos.

A geração dos resíduos sólidos industriais supera muitas vezes a geração dos resíduos sólidos urbanos, e com uma população em crescimento constante é preciso repensar os meios produtivos, a durabilidade dos produtos, a reutilização e reciclagem dos produtos, e as tecnologias ultrapassadas e que causam desperdício.

Segundo Valle (2004), se o estilo de vida da sociedade atual continuar, e os países em desenvolvimento aumentarem seus padrões de consumo ao nível dos países desenvolvidos, a geração de resíduos aumentará significativamente, sendo necessárias técnicas cada vez mais eficientes para sua prevenção, redução e disposição final.

2.2 Coleta Seletiva

A falta de distinção entre coleta seletiva e triagem ou recuperação de materiais recicláveis secos é um aspecto importante e que ainda gera confusão, pois trata-se de procedimentos e resultados distintos (SNIS, 2012).

A coleta seletiva pode ser definida como a etapa de coleta dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos urbanos tais como papéis, vidros, plásticos, metais, ou resíduos orgânicos compostáveis, previamente separados na própria fonte geradora. A coleta seletiva de resíduos recicláveis pode ser feita no sistema porta a porta, com auxílio de veículos automotores ou de tração animal ou manual, ou ainda, entregue em Postos de Entrega Voluntária, catadores, sucateiros ou entidades beneficentes. A coleta seletiva pode ou não ser seguida pelo processamento (triagem final, acondicionamento, estocagem e comercialização) dos resíduos recicláveis sob a responsabilidade da mesma entidade. (IBGE, 2010; BRINGHENTI, 2004).

Segundo IBGE (2010), os primeiros programas de coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos no Brasil teve início na década de 1980, como alternativas inovadoras para a redução da geração dos resíduos sólidos domiciliares e o estímulo à reciclagem. A partir deste momento, comunidades, indústrias, empresas e governos locais se mobilizaram para a separação dos resíduos na fonte produtoras. Em 1989, o PNSB identificou a existência de 58 programas de coleta seletiva no país, já em 2000 este número cresceu para 451 e em 2008, havia 994 programas de coleta seletiva, indicando um avanço na implantação da coleta seletiva.

Porém, o modelo de alto consumo da sociedade capitalista faz aumentar a geração *per capita* de lixo. Tal aumento foi o exórdio da preocupação de ambientalistas e da população, tanto pelo potencial poluidor, quanto pela necessidade de novos espaços para aterros sanitários. O interesse pela questão dos resíduos sólidos surgiu concomitante com a criação de políticas ambientais nos

países desenvolvidos. A coleta seletiva ainda é uma realidade bastante longe do ideal, pois ainda existe o mau acondicionamento dos resíduos pela população e falta de informação sobre coleta seletiva. Outros fatores que também contribuem para o baixo índice de reciclagem dos resíduos como o alto custo da coleta seletiva para os municípios e a falta de um sistema de triagem destes resíduos. A implantação da coleta seletiva é um processo contínuo ampliado gradativamente. (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Segundo o autor, os principais benefícios ambientais da reciclagem dos materiais existentes no lixo (plásticos, papéis, metais e vidros) são:

- A economia de matérias primas não-renováveis;
- A economia de energia nos processos produtivos;
- O aumento da vida útil dos aterros sanitários;
- Além de que, a implantação de programas de reciclagem, estimula o desenvolvimento de uma maior consciência ambiental e dos princípios de cidadania por parte da população.

A coleta seletiva possibilita a economia de matérias primas, energia e recursos naturais, além do reuso, e a reciclagem. Também consiste numa importante etapa do gerenciamento dos resíduos sólidos e contribui com a sustentabilidade ambiental, econômica e social urbana (RIBEIRO e BESEN, 2007).

Conforme Cempre (2012), o lixo no Brasil é composto de 35% de material reciclável, conforme mostra a Figura 4. Em 2010, foi consumido 5,9 milhões de toneladas de resinas termoplásticas. No Brasil, a reciclagem absorve 5% do plástico consumido no país e é geralmente associada à produção industrial (pré-consumo). Neste mesmo ano, cerca de 20% dos plásticos foram reciclados no Brasil, representando um valor aproximado de 953 mil toneladas.

Segundo mesmo autor, a reciclagem secundária, que consiste no processamento de polímeros, misturados ou não, é um mercado crescente sendo que novas tecnologias já estão disponíveis para possibilitar o uso simultâneo de diferentes resíduos plásticos, sem que haja incompatibilidade entre elas e a

consequente perda de resistência e qualidade. Já a reciclagem terciária, que consiste na aplicação de processos químicos para recuperar as resinas que compõem o lixo plástico, fazendo-as voltar ao estágio químico inicial ainda não é utilizada no Brasil.



Figura 4 – Composição do lixo no Brasil.
Fonte: Cempre, 2012.

Conforme citado em SNIS (2012), no ano de 2010, a cidade de Bauru, interior do Estado de São Paulo teve uma quantidade total de resíduos sólidos coletados (exceto os orgânicos) em 1.507t. Deste total, 989,6t foram reaproveitadas, sendo 600,8t de papel e papelão, 148,9t de plásticos, 68,7t de metais e 169,6 de vidros. A despesa corrente da Prefeitura, com serviços de limpeza urbana, soma R\$4.072.660,00 ao ano. Sendo a coleta de resíduos sólidos domiciliares e públicos orçada em R\$2.190.607,00 ao ano, e os serviços de varrição de logradouros públicos orçado em R\$1.224.692,00 ao ano. Com a quantidade total de 340 trabalhadores remunerados de todo manejo de resíduos sólidos urbanos, sendo 159 nos serviços de coleta, 31 nos serviços de varrição, 105 nos serviços de capina e roçada e 26 em unidades de processamento. Na cidade de Bauru existe uma entidade associativa de catadores associada com a Prefeitura, contando com 23 associados.

Segundo IBGE (2010), o estado de São Paulo conta com um total de 223 municípios com serviço de coleta seletiva, dentre eles, 181 municípios possuem manejo de resíduos sólidos com a participação de catadores nas ações de coleta seletiva, sendo 132 municípios com coleta organizada através de cooperativas ou associações, 70 municípios com participação isolada e 15 municípios com outra forma de coleta seletiva. No estado de São Paulo, o material mais recolhido é o papel ou papelão. Somente 77 cidades possuem sistema de coleta seletiva em todo o município, e o principal receptor final da coleta seletiva são os comerciantes de materiais recicláveis.

Ainda segundo o mesmo autor, 88 municípios do estado de São Paulo aplicam os recursos provenientes da coleta seletiva com a manutenção do sistema de coleta, e 78 cidades aplicam os recursos em atividades socioculturais e assistenciais.

Porém, os programas em parceria com catadores organizados enfrentam dificuldades como falta de capacitação, má organização do trabalho, pouca prática cooperativista, além de problemas econômicos como a competição pelo material reciclável, ausência de remuneração pelos serviços prestados pelos catadores. Há ainda, a necessidade de inserção institucional com base em instrumentos legais para garantir sua continuidade (RIBEIRO e BESEN, 2007).

Para Jacobi e Besen (2011), é necessário definir estratégias para promover a redução de resíduos nas fontes geradoras, através da educação ambiental contínua, a coleta seletiva com inclusão de catadores, e um plano de gestão abrangente, integrado e pactuado com a sociedade para reduzir a disposição de resíduos no solo. A expansão da coleta seletiva é urgente e estratégica e poderá representar uma oportunidade de reduzir os custos das cidades com serviços de higiene, gerar milhares de postos de trabalho, além de promover a conscientização e responsabilidade dos cidadãos com relação à limpeza e a sustentabilidade urbana.

2.3 Compósitos

Até a primeira metade do século passado, as atividades industriais eram pensadas de forma separada do meio ambiente, assim, a tendência em estudos relativos aos problemas ambientais era colocá-los fora do sistema produtivo, não se abordando as causas da poluição advinda dos sistemas industriais. As soluções técnicas surgidas com essa visão são chamadas de “*end-of-pipe solutions*” ou tratamentos de final de tubo, consistindo em processos de tratamento e descarte dos poluentes presentes nos resíduos industriais. Contudo, as práticas do fim do tubo não pararam o aumento da poluição industrial, e com a intensificação dos problemas ambientais e do aumento da coação social, as estruturas para o controle da poluição propostas não foram suficientes, pois não agiram na causa do problema. (PEREIRA *et al.* 2007).

Segundo Pereira (2010) no Brasil, a Ecologia Industrial apresenta-se por meio de iniciativas isoladas e, as abordagens, são as mais variadas. Não existe um acompanhamento sistemático de avaliação das abordagens implantadas, dificultando o reconhecimento tanto da eficácia, quanto da ecoeficiência dos resultados. Tradicionalmente, o termo ecologia é definido como a ciência que estuda a relação entre o meio ambiente e os seres vivos, e em um ecossistema onde haja uma cadeia alimentar em equilíbrio, não existe sobras ou o que poderíamos chamar de “lixo”. É partindo deste conceito que se pode pensar no sistema industrial de produção e reaproveitamento dos recursos, de modo a reutilizar as sobras dando utilidade e agregando valor a elas, sendo uma forma de aproveitamento, a fabricação de produtos com compósitos elaborados de resíduos industriais de pós-uso.

Dias (2009) afirma que a ecoeficiência consiste em produzir mais com menos, reduzindo o consumo de energia, de materiais e conseqüentemente, a diminuição na geração de resíduos e na poluição, assim como os custos de operações.

Para Mendonça (2005) os materiais compostos podem ser definidos como um conjunto de dois ou mais materiais diferentes, combinados em escala macroscópica, para funcionarem como uma unidade, visando obter um melhor conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresenta.

Segundo ficha informativa da Braskem (2002), compósito é um material formado por pelo menos dois componentes, sendo geralmente um polímero (matriz polimérica) e outro como fase de reforço, normalmente em forma de fibras. São leves, fáceis de moldar permitindo formas complexas e sem emendas e com a cor desejada.

Mesmo sendo fortes, as fibras não podem ser usadas sozinhas, pois não podem sustentar a compressão ou cargas transversais. Portanto é necessária uma matriz para manter as fibras em conjunto, além de proteger as fibras de ataques de insetos e fungos e as ações do tempo. Desta forma, a matriz é crucial para determinar a resistência à corrosão do compósito. Por causa da excelente resistência ao ataque do ambiente, as composições com fibras têm conquistado grandes mercados em indústrias químicas, substituindo, em parte, materiais convencionais tais como o aço, concreto reforçado e alumínio (BARBERO, 1999).

Segundo Matthews *et al.* (2009), plásticos reforçados com fibras são extremamente resistentes à corrosão e são, por conseguinte, utilizados na indústria química. Eles têm propriedades eletromagnéticas interessantes e, por causa disso, a fibra de vidro reforçada com resina é utilizada em minas de carvão e embarcações navais, pelo requisito de ser um material não-magnético. Outro exemplo é o epóxi reforçado com fibras de carbono, usado em aplicações médicas porque é transparente ao raio-X.

A utilização dos compósitos vem crescendo, sendo que suas vantagens são inúmeras, tanto para as indústrias que reutilizam tal material, como em pesquisas no desenvolvimento de novos produtos e novas tecnologias para atender as necessidades de produção do material. Uma área que está crescendo juntamente com a utilização do compósito é a do *design*, e para Manzini e Vezzoli (2008), o *design* compreende o conjunto de atividades desde o projeto territorial até o projeto

gráfico, passando pelo projeto arquitetônico e bens de consumo, sintetizando o tecnicamente possível com o ecologicamente viável e fazendo surgir novas propostas social e culturalmente apreciáveis.

Papanek (1998) utiliza o termo “*ecodesign*” ou “eco-concepção” para designar um processo que tem por consequência conceber um produto reduzindo seus impactos ambientais, com a preocupação na conservação da sua qualidade de utilização e até modificando o relacionamento produto-usuário, melhorando a qualidade da vida humana e ponderando o ecossistema.

2.3.1 Compósito plástico-madeira

O compósito plástico-madeira ou wpc (*wood-plastic composite*) é uma forma alternativa de utilização de resíduos, constituindo-se da mistura de polímero termorrígido ou termoplástico com madeira de qualquer forma. O wpc é um ótimo substituto para o aço, o alumínio e madeiras virgens ou placas elaboradas a partir de resíduos, das fibras sintéticas, como as de vidro e as poliméricas, o amianto e são muito usados na indústria automobilística, em navios e aeronaves. (CLEMONS, 2002; CARVALHO, 2003; YAMAJI, 2004; GOMES FILHO, 2006).

O wpc têm sido utilizado nos EUA por muitos anos, embora seu crescimento principal tem sido observado mais recentemente. A utilização de wpc na produção de painéis interiores de automóveis, usando a tecnologia de extrusão italiana, foi uma das primeiras aplicações principais dos EUA para o material. Grande parte do crescimento recente, do desenvolvimento e utilização de wpc foi impulsionada por iniciativas financiadas pelo Ministério da Agricultura e outros grupos associados com a silvicultura e as indústrias da madeira serrada nos EUA. Por isto, muitas das empresas envolvidas na produção de wpc’s nos EUA são empresas madeireiras, que investiram no desenvolvimento de produtos e adicionaram esses materiais alternativos ao seu portfólio de produtos. (OPITMAT Ltd e MERL Lta, 2003).

O plástico mais utilizado para a produção do wpc nos Estados Unidos é o polietileno de alta densidade (PEAD), na Europa o Polipropileno (PP) e o Cloreto de Polivinilo (PVC), são os mais utilizados. Uma grande variedade de compósitos de madeira pode ser elaborada, sendo as combinações de fibras com resinas termoplásticas as mais usadas, numa proporção que pode variar de 10% a 50% de fibras. As resinas termoplásticas como polietileno, polipropileno e poliestireno são de pós-consumo, moldam com o calor e apresentam baixo custo. (TEIXEIRA, 2005; REMADE, 2007).

Um complicador na elaboração dos compósitos reforçados com fibras de madeira é que, em processamentos em alta temperatura, necessários para muitos plásticos, pode iniciar o processo de combustão da madeira. Desta maneira, a combinação nos compósitos se restringe aos polímeros onde a temperatura do processo é baixa e não prejudique os resíduos de madeira como o polipropileno (PP), além disso, esses polímeros apresentam baixo custo (MANRICH, 2005).

As fibras de madeira também podem substituir materiais usados em reforços e cargas¹ para plásticos como o carbonato de cálcio e a fibra de vidro, que são materiais mais caros (Figura 5).

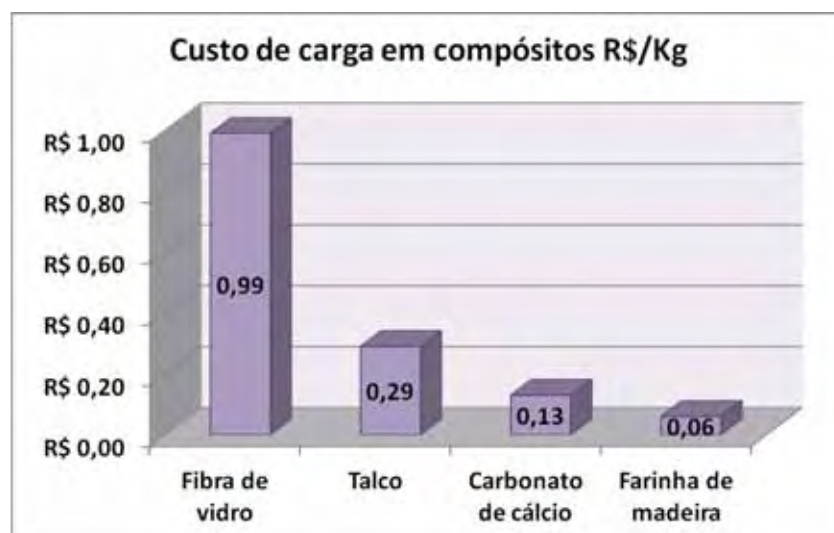


Figura 5 – Estimativa em R\$, do custo de carga em compósitos no Reino Unido.
Fonte: adaptado de Opitmat Ltd e MERL Lta, 2003.

¹ Segundo Rabello (2000), carga pode ser descrita como a fase de reforço em compósitos, e podem ser fibrosas ou não, orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas.

Os wpc's, que são produzidos a partir de resíduos de madeira e termoplásticos reciclados podem ser considerados como eco-compósitos, embora eles não tenham uma aparência que seria considerada natural. O termo “eco-compósito” é descrito por Forestry (2004), como um material que pode conter tanto fibras naturais, como cânhamo, sisal, juta ou linho, como uma matriz de polímero natural. Compostos naturais com base em amido podem ser produzidos com a vantagem importante de biodegradabilidade. Um composto que é mais fácil de reciclar, tal como um material composto por polipropileno, também pode ser denominado como um eco-compósito.

De uma forma geral, os wpc's formam uma nova classe de materiais com grande potencial comercial. Na Tabela 1 é possível verificar algumas aplicações para o compósito plástico-madeira.

Tabela 1 – Aplicações para o wpc.

Construção	Interno	Automotivo	Exteriores	Industrial	Outros
Recobrimentos	Pisos	Portas e tetos	Cercados	Corrimão	Teclas de piano
Perfis de portas e janelas	Persianas e Venezianas	Painéis interiores	Postes de muros	Embalagens industriais	
Canais e tubos	Estantes	Pisos de caminhões	Bancos de parque	Dormentes de estrada de ferro	
Placas de barcos	Molduras	Recobrimento de estepes	Equipamentos de recreação	Caixas de lixo	
Telhas	Mesas		Pisos	Placas de sinalização	
Escadas	Perfis				

Fonte: adaptado de Optimat Ltd. e Merl Lta., 2003.

Na China, a empresa Shenzhen GEM High-Tech Co. Ltd. patenteou a marca GEM WPC, que constitui em compósitos de madeira com PVC e PE e que, segundo a empresa, é formado por extrusão com equipamentos especiais e técnicas específicas, bem como tratamento de superfície requintado, possuindo as seguintes características: eficiente de energia e totalmente reciclável, semelhante à madeira

em cores e texturas, tem isolamento térmico e acústico, é resistente, durável, resistentes ao ataque de insetos, ao desgaste, a dobras, não condutor elétrico, pode ser cortado, pregado e perfurado para se adaptar a todos os tipos de acessórios.

Forestry (2004), afirma que existem várias empresas fabricando o compósito plástico-madeira, dentre elas, as empresas americanas: Trex, Strandex, American Composite Timbers, Wood Composites Technologies Inc., Environmental Polymer Products Ltd, Centriforce, Tech-wood, Timbapulus, Durawood, Cost, a empresa japonesa Einwood e a empresa chinesa Alloywood.

Segundo o mesmo autor, a madeira sob a forma de farinha de madeira ou de fibras curtas (<5 mm) é usada na fabricação de wpc's com um típico teor de 50%, apesar de alguns tipos de conterem até 80%. As espécies mais comuns utilizadas nos EUA são *Pinus* e Carvalho. As exigências do processo de fabricação são bastante severas. As fibras de madeira devem ser secas com teor de umidade a 2% ou 3%, ser limpas e de tamanho uniforme. Os resíduos de serrarias também representam uma fonte abundante de aparas de madeira e serragens que são em seguida secas e moídas em um moinho de martelos, até à dimensão pretendida.

As matérias primas e as tecnologias de fabricação de wpc que foram desenvolvidos estão atualmente bem estabelecidos nos EUA. Os polímeros virgens ou reciclados juntamente com resíduos de madeira processada são as principais matérias primas. Os aditivos² são utilizados para auxiliar de processamento e otimizar o tempo de vida útil do produto. O processo de fabricação baseia-se em processamento de plásticos, em particular a operação de extrusão, com pequenas modificações feitas para acomodar as propriedades particulares de matérias primas do wpc, como as fibras vegetais. Novos estudos estão se dirigindo para a utilização de espuma como matriz polimérica, já que são mais leves e parecem mais com a madeira real que muitos dos atuais materiais utilizados em wpc (OPITMAT Ltd e MERL Lta, 2003).

² Aditivos são substâncias que podem ser combinadas com os polímeros para melhorar suas características como rigidez, cor, resistência, intemperismo, flamabilidade e facilidade de processamento (KALPAKJIAN e SCHMID, 2002).

Na Tabela 2 podem-se verificar os valores de densidade e de resistência à flexão de alguns compósitos comercializados.

Tabela 2 – Valores de densidade e resistência à flexão de alguns compósitos.

Material	Densidade (kg/m³)	MOE (N/mm²)	MOR (N/mm²)
PEBD (resíduos de plástico sólido)	980	710	N/A
PEAD (“Plasti” madeira plástica - parte aerada)	900	700 – 800	N/A
GPR/PEBD (fibra de vidro reforçada com poliéster resíduos / resíduos de plástico)	1100	1220	16
“Trex” plástico-madeira	910 a 950	1205	9.8
“Trimax” plástico-madeira	950	2239	19
“Einwood” plástico-madeira	1120	3047	17
“Tech-Wood” plástico-madeira	970	7440	74
“American Composite Timber” plástico reforçado com fibra de vidro	965	3100	17
Stika spruce (12% de teor de umidade)	384	8100	67
UK Douglas (12% de teor de umidade)	497	10500	91
Greenheart (12% de teor de umidade)	1009	21900	190

Fonte: adaptado de Forestry, 2004.

A Marinha dos EUA está patrocinando o desenvolvimento de pesquisas para aplicações de wpc em cais navais. Este material é procurado porque tem propriedades semelhantes as da madeira, mas possuem uma maior durabilidade em ambientes agressivos que são normalmente vistos por estruturas de orla. Também são resistentes às brocas marinhas que têm sido uma praga para pilares de madeira tratados. Wpc’s são considerados mais seguros para o ambiente marinho do que a madeira tratada, pois não necessitam de produtos químicos tóxicos para a resistência à degradação. A Marinha dos EUA também está buscando projetos modulares, utilizando seções que permitirão a fácil substituição de membros individuais danificados (BALMA, 1999).

Na Alemanha, a empresa JELU-Werk, produz compósitos de plástico-madeira da marca JELUXYL com 50% de farinha de madeira de *Pinus* e 50% de PP com modificações proporcionadas por aditivos, de acordo com a necessidade do cliente.

Na Figura 6 podem-se observar alguns produtos do compósito plástico-madeira JELUXYL.



Figura 6 – Vista de alguns itens produzidos pela empresa, em compósito plástico-madeira.
Fonte: JELU-Werk.

O uso de carga para compósitos nas indústrias de plásticos dos EUA no ano 2000 estava em 5,5 bilhões de libras, dos quais 0,4 milhões (7%) foram estimadas sendo fibras biológicas, sendo a maioria delas extraídas da madeira. No entanto o uso de outras fibras naturais como linho ou palha de trigo não está descartado. Outras cargas, incluindo as fibras naturais podem ter preço superior ao carbonato de cálcio, comumente utilizado como carga. O preço médio por quilo de plástico reforçado com fibra, no ano 2000 era de U\$0,90 para fibra de vidro, U\$0,20 para

fibras naturais que não a madeira, U\$0,10 para fibra de madeira e o carbonato de cálcio em U\$0,70 (ECKERT, 2000 *apud* JEONG, 2004).

Segundo a BCC Research (2011), o mercado mundial de produtos de compósitos plástico-madeira (wpc's), plásticos celulósicos, madeira, e compósitos de fibras naturais foi estimado em cerca de 2,4 milhões de toneladas em 2011, conforme mostra a Figura 7.

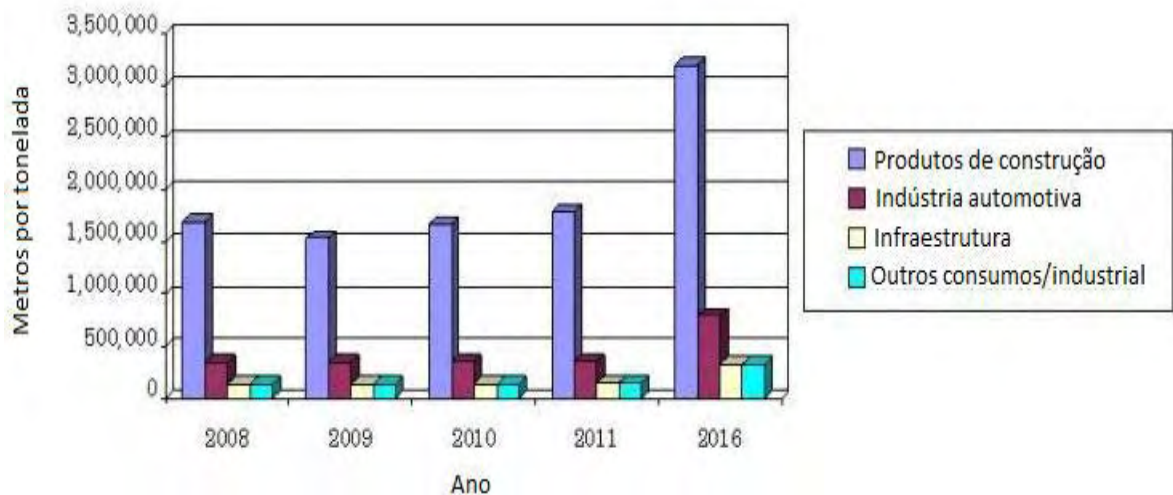


Figura 7 – Gráfico da previsão para aplicações de wpc's, e compósitos de fibras naturais.
Fonte: adaptado de BCC Research, 2011.

Ainda, segundo a BCC Research (2011), em 2016, estima-se um aumento de cerca de 4,6 milhões de toneladas a uma taxa de crescimento anual 13,8%. O mercado para produtos de construção está previsto para experimentar o maior crescimento, com uma taxa de crescimento anual de 12,4% durante o período de cinco anos entre 2011 e previsão para 2016. Este setor deverá produzir 1,7 milhão de toneladas em 2011 e está previsto cerca de 3,2 milhões de toneladas em 2016. O mercado, para aplicações automotivas, está estimado em 0,3 milhões de toneladas em 2011 e deverá aumentar a uma taxa de crescimento anual de 17,1% e deverá atingir cerca de 0,8 milhões de toneladas em 2016.

2.4 Utilização da Madeira

A madeira pode ser considerada como um dos primeiros materiais de engenharia a ser utilizado pelo homem. No início dos tempos o homem evoluiu e, deixou de usar a mão como único instrumento ou ferramenta e passou a usar outros tipos de materiais em seus trabalhos, que ficavam cada vez mais complexos, como fazer abrigos para sua proteção e conforto. É usada desde sempre na construção de moradias, móveis e veículos, atendendo a três necessidades primordiais do homem: combustível, casa e transporte. (GONÇALVES, 2002; ULLOA, 2007)

Existem duas categorias de madeiras, segundo a taxonomia: as Gimnospermas e as Angiospermas. Neste estudo, serão usadas as madeiras *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*, contidas na categoria Gimnospermas, mais especificamente, das Coníferas, com característica de ser resinosa, e com ausência de vasos ou poros. As coníferas são compostas, basicamente, por traqueídeos, raios medulares, canais resiníferos, células de parênquima e pontuações areoladas (GONÇALVES, 2002).

Pfeil e Pfeil (2003) afirmam que as madeiras são distintas em duas categorias:

- Madeiras duras – árvores de crescimento lento, de folhas abundantes, como peroba, ipê, aroeira e também são chamadas de madeiras de lei. Perdem suas folhas no outono. São as dicotiledôneas, da classe das Angiospermas;
- Madeiras macias – árvores de crescimento rápido, com folhas em forma de agulha ou escamas, como pinheiro-do-pará, pinheiros europeus e norte-americanos. Mantém suas folhas verdes o ano todo. São as coníferas, da classe das Gimnospermas.

As fibras provenientes de coníferas possuem um comprimento em torno de 3.5mm, enquanto as folhosas apresentam fibras com tamanho em torno de 1.5mm (OPTIMAT Ltd e MERL Lta, 2003).

A Tabela 3 apresenta a proporção dos tipos de tecidos celulares que compõem a madeira, diferenciando as coníferas das dicotiledôneas.

Tabela 3 – Proporção de elementos celulares que compõem a madeira.

Tipos de tecidos	Proporção Volumétrica (%)					
	Coníferas			Dicotiledôneas		
	Menor	Média	Maior	Menor	Média	Maior
Vasos				2	15	65
Traqueídeos	87	93	96			
Fibras				13	55	80
Parênquima		1	2	2	12	75
Raios Medulares	4	7	12	1,2	15	50
Canais Resiníferos		0,4	1,1			

Fonte: adaptado de Gonçalves, 2002.

Para Pfeil e Pfeil (2003) as madeiras para construção civil devem ser retiradas do cerne, que é a parte mais durável da madeira. Já a madeira do alburno é mais higroscópica sendo mais sensível a ação dos fungos, porém tem maior aceitação de agentes protetores. A madeira é constituída por substâncias orgânicas, sendo 50% carbono, 44% oxigênio e 6% hidrogênio.

Segundo Gonçalves (2002), algumas experiências feitas por pesquisadores indicam que as propriedades de resistência da madeira se relacionam com o teor de umidade contido na mesma. A madeira verde contém em seu interior, denominado cerne, uma variação de percentual de água de 30% a 100%, e no alburno entre 40% e 200%, referido ao peso seco. Um aspecto interessante a ser descrito é que, no interior da madeira, podem ser encontrados polímeros. A madeira é composta por celulose, hemicelulose e lignina, que são caracterizados como polímeros, os quais formam a parede celular da madeira e são responsáveis pela maioria de suas características físicas e químicas. A celulose é um polímero formado por centenas de glucoses formando cadeias de até 10.000 elementos.

Pfeil e Pfeil (2003) também afirmam que o composto orgânico predominante é a celulose, constituindo cerca de 50% da madeira, seguido da lignina que compõe de 20% a 30% e as hemiceluloses com 20% a 25% da constituição da madeira. A densidade da madeira é uma característica importante a ser observada na

classificação de madeiras serradas ou compostas. A densidade se refere à massa de uma substância por unidade de volume e é expressa em kg/m^3 . Sendo que a densidade da madeira depende da espécie, da localização de onde os corpos de prova foram retirados na tora, da umidade, etc.

A espécie *Pinus elliotti* apresenta uma densidade de $0,32\text{g/cm}^3$, correspondente a uma densidade relativa a 12% de teor de umidade. No que se refere à condutividade térmica, a madeira não apresenta bons resultados. Os materiais celulósicos são maus condutores devido à porosidade e à falta de elétrons livres, os quais transmitem a energia. Alguns autores afirmam que a condutividade da madeira pode ser equivalente à sua densidade, pois a umidade aumenta a capacidade de transmissão de calor e com isso a condutividade aumenta (GONÇALVES, 2002).

A madeira é um material anisotrópico³, apresentando as direções longitudinal, radial e tangencial. A umidade da madeira tem uma importância elevada sobre suas propriedades, e a quantidade de água das madeiras recém-cortadas varia conforme a espécie. Elas podem sofrer retração ou inchamento com a variação da umidade e também está sujeita à deterioração por ataque biológico e ação do fogo. Tem baixa resistência ao fogo se não forem empregadas adequadamente (PFEIL e PFEIL, 2003).

A utilização irregular da madeira e o comércio desenfreado podem causar danos diretos ao meio ambiente, como desmatamento, utilização irregular do solo, queimadas e o desaparecimento de espécies da fauna. Somente no mês de outubro de 2012, foram apreendidos 6.000m^3 de madeira ilegal em Belém-PA (IBAMA, 2012).

Além do problema do desmatamento e do comércio ilegal de madeiras, há o problema de geração de resíduos nas indústrias madeireiras durante o processamento das toras. Para que a madeira seja comercializada, é realizado o processamento primário onde a tora é cortada na serra de fita de acordo com o

³ Um material anisotrópico é aquele em que uma ou mais de suas propriedades dependem da direção em que são observadas no meio (WEISZFLOG, 1998). No caso da madeira, as propriedades variam de acordo com a direção de suas fibras.

desejado. A madeira aparelhada também pode ser obtida através de seções maiores por meio de processamento na serra no sentido longitudinal e é eventualmente aplainada para atingir uma determinada medida. Tais procedimentos geram resíduos, tanto no corte das toras, como no processo de aparelhar a madeira, gerando serragem (NENEWITZ, *et al.* 2008).

Segundo dados do Imazon (2012), em julho de 2012 foi detectado 139,5 quilômetros quadrados de desmatamento na Amazônia Legal, significando um aumento de 50% em relação ao mês de julho de 2011, sendo a grande maioria do desmatamento ocorrida no Pará com 83% (Figura 8).

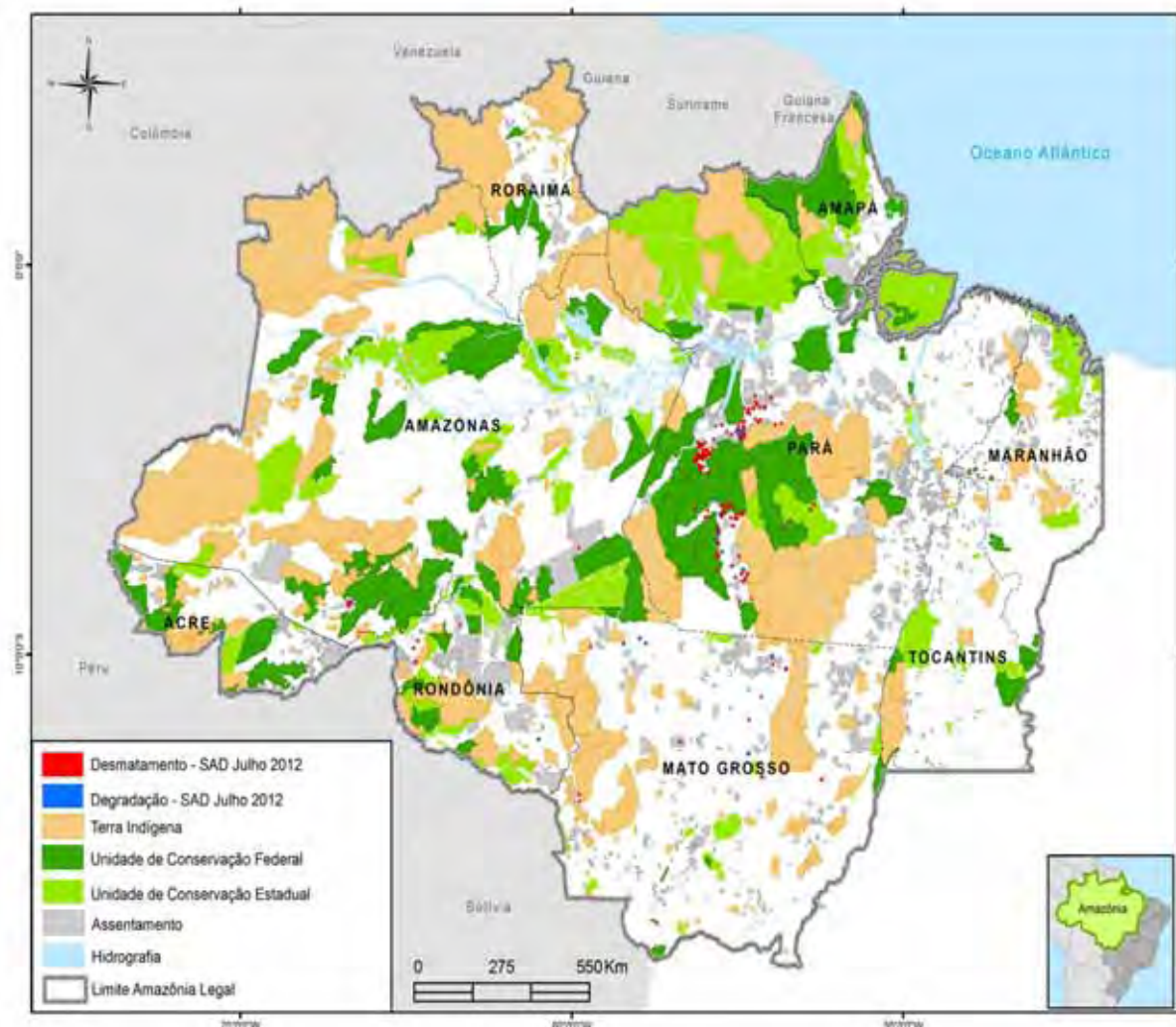


Figura 8 – Mapa do desmatamento na Amazônia em 2012.

Fonte: Imazon, 2012.

De acordo com a Figura 8, a maioria do desmatamento ocorreu no Pará, seguido pelo Mato Grosso, Rondônia e Amazonas. Nota-se ainda que alguns pontos de desmatamento ocorrem próximos aos rios, o que acelera o assoreamento. A redução do desmatamento implica na redução da emissão de gases que provocam o efeito estufa. Atualmente, a sociedade vem mudando alguns aspectos culturais e o consenso de que o desmatamento deve ser combatido está cada vez mais forte. As pesquisas que estão sendo desenvolvidas abrangendo a reciclagem e reutilização de materiais também podem contribuir de alguma forma, com a diminuição do desmatamento.

2.5 Utilização dos Plásticos

Com a evolução do ser humano e da história, os elementos estruturais e materiais que eram utilizados pelo homem foram sofrendo alterações. Um fato surgido no início do Século XX marcou a história da humanidade: alguns materiais produzidos pela química, consistiam de grandes moléculas, resultado do encadeamento de 10.000 ou mais átomos de carbono. Esses produtos apresentavam repetição de pequenas unidades estruturais em sua longa cadeia principal, e assim foram denominados polímeros, que no grego significa “muitas partes” (MANO, 2000).

Os polímeros, também conhecidos como plásticos, são materiais sólidos, sintéticos e com origem geralmente orgânica. São de fácil fabricação, principalmente relacionado ao custo final se comparados com outros materiais de engenharia, consequente dos baixos níveis de força, energia e temperatura necessários para a fabricação do plástico (MENDONÇA, 2005).

Os materiais sólidos são classificados em quatro grupos: materiais metálicos, cerâmicos, poliméricos e os compósitos. A classificação é baseada na estrutura atômica e nas ligações químicas predominantes em cada grupo (PADILHA, 1997).

Na Tabela 4 pode-se verificar a utilização de elementos estruturais, pelo homem, ao longo da evolução histórica.

Tabela 4 – Evolução do uso de elementos estruturais pelo homem.

Evolução histórica		Ano	Material
Pré-história	Idade da Pedra	25.000 até 6.500 AC	Madeira, Pedra lascada e Pedra polida
	Proto-história	Idade dos metais	6.500 até 1.500 AC
História	Antiguidade	4.000 até 500 AC	Vidro
	Idade Média	500 até 1.500 DC	Ligas metálicas
	Idade Moderna	1.500 até 1.800 DC	Concreto
	Idade Contemporânea	1.800 até os dias atuais	Polímeros

Fonte: adaptado de Mano, 2000.

Conforme Marczak (2004), a produção industrial dos plásticos teve início em 1909 com o desenvolvimento do plástico fenol-formaldeído (Baquelite) por L. H. Bakeland. Porém a indústria de plásticos só avançou a partir de 1930, quando foram desenvolvidos o Nylon, os uretanos e os fluorcarbonos. Também nesta época começaram a ser produzidos os compostos moldáveis à base de estireno, a celulose, o acetato e a melamina, e conseqüentemente, surgiram no mercado as primeiras máquinas para produção industrial de peças plásticas com processo por injeção, sopro e vácuo.

Segundo o mesmo autor, quando comparados com outros materiais, os plásticos possuem propriedades únicas. Se empregados adequadamente, realizam suas funções a um custo mais atraente quando comparado com outros materiais.

Para Mano (2000), dentre os materiais de engenharia atuais, estão incluídos os plásticos, borrachas, fibras e adesivos, e que estes são indispensáveis à vida moderna. Alguns polímeros podem ser usados para aplicações de engenharia, como

engrenagens e peças estruturais, permitindo a substituição a materiais como metais. Neste grupo, incluem-se os plásticos que podem ser aquecidos e resfriados, processados por métodos de laminação, injeção e extrusão: os termoplásticos. Já os termorrígidos, que se fundem quando aquecidos, porém não são reversíveis, sofrendo reação química que causa a formação de ligações cruzadas intermoleculares, resultando em uma estrutura reticulada, infusível e insolúvel.

Segundo Mendonça (2005), os polímeros termoplásticos são aqueles que amolecem ou fundem quando submetidos a temperaturas elevadas. O processo de aquecimento – amolecimento – resfriamento – endurecimento é reversível de forma que podem ser reutilizados com o calor e pressão, podendo apresentar redução parcial de suas propriedades mecânicas.

Para o autor, a característica de ser reutilizado constitui em um dos aspectos mais importantes dos termoplásticos, associado à preservação e conservação do meio ambiente. Os principais termoplásticos são: Polietileno, Poliestireno, Policarbonato, Poliacetal, Poliamida-imida, Fluorcarcono, Fenóxis, Celuloses, Poliéter-éter, Peek, Acrílicos, Polissulfone, Polifenilene Sulfide, Poliéter-imida, Estirenos, Polivinil Cloride, Poliolefinos.

Marczak (2004) afirma que os plásticos se diferenciam dos demais materiais como, por exemplo, o peso, tornando-os atrativos na indústria de embalagens, equipamentos esportivos e na redução de custos de transporte.

A Figura 9 representa a classificação dos polímeros com seus respectivos números de identificação.

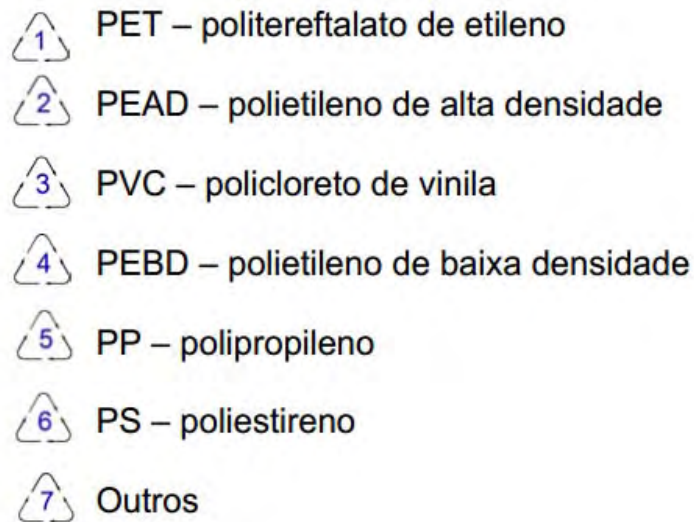


Figura 9 – Classificação dos polímeros.
 Fonte: adaptado de Vesilind e Morgan, 2011.

De acordo com Mano (2000), as propriedades físicas são aquelas que não envolvem qualquer modificação estrutural em nível molecular dos materiais, sendo que nestas propriedades estão inclusas as propriedades mecânicas, térmicas, elétricas e óticas.

A Figura 10 representa a classificação dos materiais de engenharia divididos em clássicos, ou tradicionais que são a madeira, as cerâmicas, os vidros e os metais, e os não-clássicos, que compreendem os polímeros sintéticos.

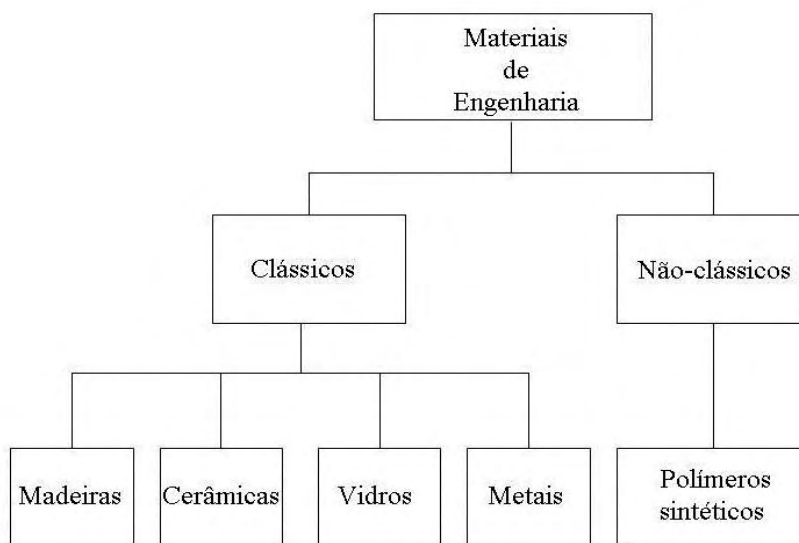


Figura 10 – Classificação dos materiais de engenharia.
 Fonte: adaptado de Mano, 2000.

Os plásticos possuem grande flexibilidade, conforme o tipo de polímero e os aditivos usados na sua formulação. Os polímeros têm uma dureza inferior que outros materiais como a cerâmica e os metais, além de serem maus condutores térmicos e elétricos, se fundem quando são aquecidos. Nos termorrígidos não ocorre distorção por aquecimento e quanto mais a temperatura aumenta ocorre a degradação do material polimérico. O módulo de elasticidade dos plásticos é mais suscetível a variações de temperatura do que os metais. Podem ser considerados leves em relação com outros materiais (MANO, 2000; WIEBECK e HARADA, 2005).

Segundo os mesmos autores, os polímeros orgânicos apresentam uma facilidade de queima, constituindo-se em uma desvantagem para o material. Quando um polímero orgânico é aquecido, ele vai sofrendo alterações físicas e posteriormente químicas, seguindo pela decomposição e formação de produto volátil. Quando tais polímeros estão em composição com matérias orgânicas, como aditivos minerais, ele deixa cinzas nas quais se encontram tais aditivos.

Porém, a má utilização dos plásticos, resultando em produtos de baixa qualidade, e o descarte incorreto destes produtos e embalagens plásticas acabam em poluição e degradação ambiental, como pode ser visualizado na Figura 10.



Figura 11 – Amostra de embalagens plásticas encontradas em praias brasileiras.
Fonte: <http://planetasustentavel.abril.com.br>

Em levantamentos realizados em grandes cidades brasileiras, os principais plásticos encontrados em meio aos resíduos sólidos urbanos são o polietileno de alta e baixa densidade, o PVC e o polipropileno, sendo que os outros polímeros encontrados correspondem a apenas 11% do total (SPINACÉ e PAOLI, 2005).

Os poluentes podem ser gerados por fontes naturais, como as cinzas vulcânicas, ou por fontes antropogênicas que podem ser identificadas como as atividades humanas, a agropecuária, mineração, transportes e indústrias, e são estas que causam os maiores problemas ambientais, pois cada um deles produz certos tipos de poluentes específicos em decorrência dos processos típicos já que nem todos os materiais extraídos podem ser utilizados e alguns se tornam resíduos industriais que muitas vezes são descartados no meio ambiente (BARBIERI, 2007; VESILIND e MORGAN, 2011; OMS, 2010).

Segundo os mesmos autores, as fontes de poluição podem ser pontuais, como as fábricas, hospitais, depósitos, veículos e domicílios, ou podem ser difusas, como o lixo que se espalha pelas ruas ou a sujeira deixada numa praia depois do fim de semana. A poluição de cursos d'água acarreta um esforço cada vez maior para que água tratada seja oferecida à população, com conseqüente aumento de custos. Este aspecto não envolve apenas uma questão financeira, mas as doenças das populações que dependem de cursos d'água por conta da contaminação por agentes patogênicos e tóxicos.

Para Dias (2009) um dos problemas mais visíveis causados pela industrialização é a destinação dos resíduos sólidos, afetando o meio ambiente natural e a saúde humana. Este problema ambiental foi agravado nos últimos 200 anos, devido à intensificação da industrialização e a intervenção do homem na natureza.

3 MATERIAL E MÉTODO

Neste capítulo serão descritos os ensaios laboratoriais, que deram origem à análise comparativa entre o compósito plástico-madeira elaborado nesta pesquisa e os compósitos já pesquisados.

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa entre compósitos poliméricos já pesquisados e o compósito plástico-madeira desenvolvido nesta pesquisa, considerando como parâmetro as especificações das normas ASTM D-638-10, ASTM D-256-00, ASTM D-570-98, ASTM G-155-05 e ASTM D-1238-10.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Processamento da Madeira da Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP, no Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar e no Laboratório de Anelasticidade e Biomateriais da Faculdade de Ciências da UNESP – Bauru, seguindo as normas descritas a seguir.

3.1 Materiais

Os principais materiais utilizados nesta pesquisa foram a farinha de madeira proveniente da mistura das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* e o polímero polipropileno (PP) reciclado descritos a seguir:

Farinha de madeira

Foi escolhida a espécie de madeira *Pinus* para esta pesquisa, pois é uma das madeiras mais plantadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, além de serem utilizadas na extração de resinas (EMBRAPA, 2005), sendo um ponto importante para a pesquisa já que não será utilizado nenhum compatibilizante⁴ para a aglutinação do polímero com a madeira.

A farinha de madeira usada para a produção do compósito plástico-madeira é proveniente da mistura das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* e foi fornecida pela Indústria Pinhopó Moagem de Madeira, localizada em Ponta Grossa-PR, de lote 03/11/11-A, malha 04-C, boca B (C B2). O material é obtido através da moagem de resíduos de madeira que não contenham impurezas, possuindo coloração clara e granulometria uniforme. A farinha de madeira ficou em estufa por um período de 03h à temperatura de 60°C antes do processamento do compósito.

Polipropileno

Nesta pesquisa foi escolhido o polímero polipropileno (PP) reciclado, pois, além da abundância do material em resíduos sólidos, contribuindo de alguma forma para a poluição, este polímero é totalmente reciclável, possui temperatura de amolecimento compatível para a produção do wpc, tem elevada resistência química e a solventes, possui boa estabilidade térmica e é de fácil moldagem (MANRICH, 2005).

O material utilizado na pesquisa é proveniente de uma Recicladora de Plásticos localizada na cidade de Bauru-SP, sendo obtido através de trabalhadores

⁴ Os agentes compatibilizantes são copolímeros que podem modificar a energia mecânica do material em relação ao termoplástico (MAGLIO e PALUMBIO, 1986).

autônomos que recolhem os materiais reciclados na cidade e vendem a esta recicladora. Após o recebimento, o material é separado por tipo de polímero, levado à picadora e extrusado em forma de *pellets*.

O polipropileno na forma de *pellets* (Figura 12), passou por processo de limpeza, a saber: inicialmente o material foi lavado para retirada de materiais estranhos (Figura 13 e 14), e seco ao ar para retirada do excesso de água para, em seguida, o material ser seco em estufa (temperatura de 90°C pelo período de 24h). Nestas condições, o PP está apto para ser usado no processo de produção do wpc (Figura 15).



Figura 12 – Aspecto inicial do polipropileno antes de ser lavado.



Figura 13 – Processo de lavagem do polímero



Figura 14 – Aspecto do polímero após ser lavado.



Figura 15 – Estufa usada na secagem do material.

3.2 Métodos

Após a escolha dos materiais, a próxima etapa foi a produção do compósito plástico-madeira e a injeção dos corpos de prova para as análises.

Para todas as amostras foram utilizados os mesmos materiais, porém em traços distintos (farinha de madeira e polipropileno). A sequência das principais etapas desenvolvidas neste estudo está sintetizada na Figura 16.



Figura 16 – Fluxograma das principais atividades desenvolvidas para o compósito plástico-madeira.

O compósito plástico-madeira e os corpos de prova foram produzidos no Laboratório de *BIOCycle* do Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos. Foram feitos quatro traços sendo que, para cada um, foi usado 05kg de material. As formulações foram de 100% PP (T1), 90%PP+10%FM (T2), 80%PP+20%FM (T3) e 70%PP+30%FM (T4). Os corpos de prova foram injetados com moldes conforme a *American Society for Testing and Materials*, normas ASTM D-256-00 e ASTM D-638-10.

Para todas as amostras foram utilizados os mesmos materiais (farinha de madeira *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* e polipropileno reciclado)

A abordagem metodológica foi desenvolvida em quatro etapas:

1ª Etapa: Preparar quatro traços com diferentes proporções de farinha de madeira e o polipropileno reciclado. As diferentes formulações estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 – Formulações para produção do compósito.

Traço	Quantidade de material (kg)	Percentual de material
1	5,0kg	100% PP
2	4,5kg PP + 0,5kg FM	90% PP + 10%FM
3	4,0kg PP + 1,0kg FM	80% PP + 20% FM
4	3,5kg PP + 1,5kg FM	70% PP + 30% FM

2ª Etapa: Produzir o compósito plástico-madeira através do processo de extrusão.

3ª Etapa: Injetar os corpos de prova com padrões determinados pela norma ASTM D-638-10 e ASTM D-256-00.

4ª Etapa: Realizar as análises necessárias de acordo com a norma ASTM D-638-10, ASTM D-256-00, ASTM D-570-98, ASTM G-155-05 e ASTM D-1238-10 nas amostras desenvolvidas. As análises realizadas e suas respectivas normas metodológicas estão descritas a seguir.

3.2.1 Método do processo de extrusão do wpc

Para produção dos compósitos, foi utilizada uma extrusora da marca Extrusão Brasil, de dupla rosca, co-rotacional e $L/D = 40$, com onze zonas de aquecimento como mostra a Figura 17. Para a produção, as formulações foram despejadas no funil de alimentação do equipamento, que estava programado para produção de *pellets* de PP virgem.

Para que não houvesse problemas durante o processo, como entupimento da rosca, e considerando que o polipropileno utilizado era de procedência de reciclagem e não apresentava homogeneidade, o polímero foi extrudado e picado em *pellets* novamente.



Figura 17 – Vista parcial da extrusora utilizada para a produção do compósito.

Após a pesagem, o material foi colocado em sacos plásticos e misturado por aproximadamente 02 minutos, para torná-la homogênea. Em seguida, teve início o

processo de extrusão do material, sendo que a extrusora estava programada conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Programação da extrusora para todas as formulações do compósito.

Temperatura da água	Zonas de aquecimento	Temperatura em °C
25 °C	Z1	110°C
	Z2	150°C
	Z3	170°C
	Z4	195°C
	Z5	195°C
	Z6	195°C
	Z7	190°C
	Z8	190°C
	Z9	190°C
	Z10	190°C
	Z11	200°C

Velocidade de 50kg/h para 100% e 90% PP , para 20% e 30% FM velocidade de 20kg/h

Depois da passagem pelo funil, os materiais passavam pela rosca em alta temperatura, que misturava o compósito e empurrava para a saída, com um molde tipo “macarrão”. O material saía a uma temperatura média de 200°C e caía na água para resfriamento. Após o resfriamento o “macarrão” ia direto para a picadora, produzindo os *pellets* do compósito plástico-madeira, conforme Figura 18.

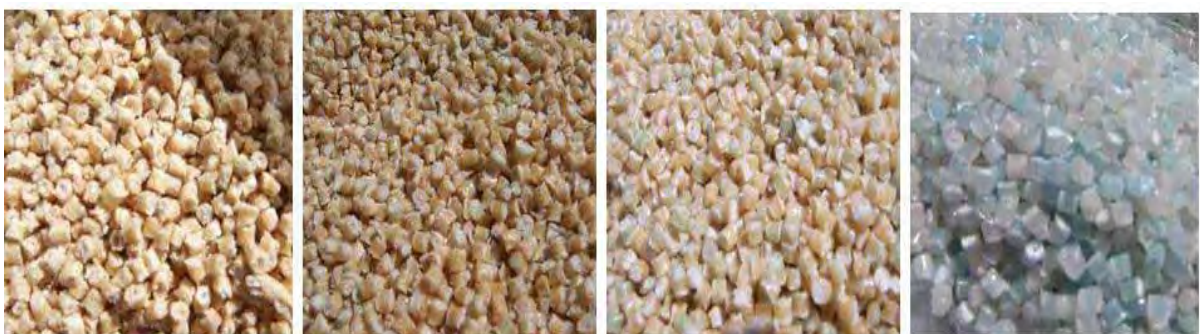


Figura 18 – *Pellets* do compósito plástico-madeira em 30%, 20%, 10% FM e 100%PP, respectivamente.

Algumas observações puderam ser feitas desde a fase de preparo até a extrusão do compósito, ou seja:

- os materiais devem ser secos em estufa antes da extrusão para que não haja problemas com o sistema de degasagem, e nem com o compósito;
- a pré-mistura deve ser feita no momento da extrusão. Como os materiais têm densidades diferentes, pode haver uma separação do material se ficar parado por muito tempo antes do procedimento;
- no funil de alimentação houve a necessidade de “empurrar” o material, pois como os materiais apresentavam densidades diferentes, o polipropileno estava escoando mais rapidamente;
- na extrusão da formulação com 30% de farinha de madeira houve liberação de gases, sendo necessária a limpeza do sistema de degasagem;
- a maior dificuldade foi observada na produção do compósito com 30% de farinha de madeira, pois o material que escoava da extrusora quebrava-se muito facilmente.

3.2.2 Método do processo de injeção do wpc

Após a extrusão, as formulações ficaram em estufa por um período de 24h a uma temperatura de 60°C. Após a secagem, o processo de injeção foi iniciado para a confecção dos corpos de prova. A configuração da injetora variou segundo cada formulação, conforme as Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Programação da injetora para a confecção do conjunto tipo Charpy.

Traço	Temperatura em °C das zonas de aquecimento	Velocidade de injeção	Temperatura da água em °C	Peso do conjunto tipo Charpy
1	z1-110°C; z2-192,6°C; z3-189°C; z4-159,8°C	20seg/bar	30°C	0,022kg
2	z1-190°C; z2-190,5°C; z3-185,3°C; z4-159,3°C	20seg/bar	30°C	0,022kg
3	z1-190°C; z2-190,5°C; z3-185,3°C; z4-159,3°C	20seg/bar	30°C	0,022kg
4	z1-190°C; z2-190,1°C; z3-185°C; z4-159,8°C	20seg/bar	30°C	0,024kg

A programação da injetora para o material de 100% PP foi diferente dos demais compósitos, pois as fibras da madeira influenciam na fluidez do material no bico de injeção, sendo necessários ajustes nas temperaturas de processamento e na velocidade de injeção.

Tabela 8 – Programação da injetora para a confecção do conjunto de placas.

Traço	Temperatura em °C das zonas de aquecimento	Velocidade de injeção	Temperatura da água em °C	Peso do corpo de prova (02 placas de 6cm ² x3mm)
1	z1-200°C; z2-199,5°C; z3-194,8°C; z4-191°C	15seg/bar	30°C	0,024kg
2	z1-190,1°C; z2-189,9°C; z3-185,2°C; z4-159,8°C	20seg/bar	30°C	0,026kg
3	z1-190,1°C; z2-189,9°C; z3-185,2°C; z4-159,8°C	20seg/bar	30°C	0,026kg
4	z1-190,1°C; z2-189,9°C; z3-185,2°C; z4-159,8°C	20seg/bar	30°C	0,028kg

A máquina utilizada para a injeção dos corpos de prova foi a Injetora Romi Prática, modelo 130, com quatro zonas de aquecimento, conforme mostra a Figura 19.



Figura 19 – Máquina Injetora utilizada para a produção do compósito.

Foram moldados vinte corpos de prova no conjunto tipo charpy (Figura 20) para cada formulação, e vinte corpos de prova de placas de 6cm^2 , como o molde se consistia num conjunto de duas placas, foram injetados dez conjuntos, totalizando vinte placas, como mostra as Figuras 21 e 22.



Figura 20 – Conjunto de corpos de prova para teste de impacto e para teste de tração.



Figura 21 – Conjunto de placas de 6cm^2 .



Figura 22 – Corpos de prova separados individualmente.

O processo de injeção dos corpos de prova não apresentou nenhum problema. Os compósitos fluíram bem no bico de alimentação da injetora.

3.2.3 Metodologia para o ensaio de absorção de água e inchamento em espessura, norma ASTM D-570-98

Este método de ensaio determina a relação da taxa de absorção de água pelos plásticos, quando imersos. Destina-se a todos os tipos de plásticos, incluindo os produtos resinosos (moldado-quente e moldado-frio) ambos homogêneos e plásticos laminados em haste e em forma de tubo.

O ensaio para a taxa de absorção de água permite analisar a proporção de água absorvida por um material e como um teste de controle da uniformidade de um produto.

De acordo com a norma ASTM D-570-98, o teor de umidade de um plástico é intimamente relacionado com propriedades como: resistência de isolamento elétrico, resistência mecânica, aparência e dimensões. O efeito sobre estas propriedades da mudança em umidade devido à absorção de água depende, em grande parte, do

tipo da exposição (por imersão em água ou por exposição em umidade elevada), formato da peça e as propriedades inerentes do plástico.

-Imersão repetida

As amostras devem ser colocadas em um recipiente com água destilada mantida a uma temperatura de 23 ± 1 °C, e devem ser totalmente imersos. No final de 2h (120 ± 4 min) as amostras são retiradas da água uma a uma, enxutas com um pano seco, medidos com um micrômetro e pesados em uma balança analítica com sensibilidade para leitura de 0,0001g imediatamente. As amostras são recolocadas na água e pesadas novamente após 24h.

-Imersão de longo prazo

No final de 24h, as amostras devem ser removidas da água, ter a superfície enxuta com um pano, para serem medidas com micrômetro e pesadas imediatamente em uma balança analítica com sensibilidade para leitura de 0,0001g e, em seguida recolocadas na água. As pesagens devem ser repetidas no final de cada semana. O processo foi repetido por um período de duas semanas.

- Materiais empregados no ensaio de absorção de água e inchamento em espessura

-Recipiente: os corpos de prova devem ser dispostos em recipiente, apoiados em cutelos que garanta uma lâmina de 30mm de água destilada na superfície inferior e uma lâmina de 30mm na superfície superior.

-Balança Analítica: para os testes foi necessária uma balança analítica com sensibilidade de leitura de 0,0001g.

-Estufa: foi necessária uma estufa capaz de manter as temperaturas uniformes de 50 ± 3 °C, para secar os corpos de prova antes da imersão em água, conforme Figura 23.



Figura 23 – Vista parcial da estufa utilizada.

-Termômetro digital: o termômetro foi necessário para controlar a temperatura da água, que deve estar a $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- Micrômetro digital: o micrômetro digital foi utilizado para a medição da espessura dos corpos de prova após a imersão em água.

3.2.4 Metodologia para o ensaio de propriedades de tração, norma ASTM D-638-10

Segundo a norma ASTM D-638-10, este método de ensaio abrange a determinação das propriedades de tensão dos plásticos não reforçados e reforçados

em forma de hastes. As propriedades de tensão podem variar de acordo com a preparação de amostras e com a velocidade e ambiente de teste. Conseqüentemente, onde a precisão dos resultados comparativos for necessária, estes fatores devem ser cuidadosamente controlados.

A norma ASTM D-638-10 prevê que o corpo de prova deve estar em conformidade com as dimensões indicadas na Figura 24. Este tipo de amostra deve ser utilizado quando o material tiver uma espessura de 7mm ou menos.

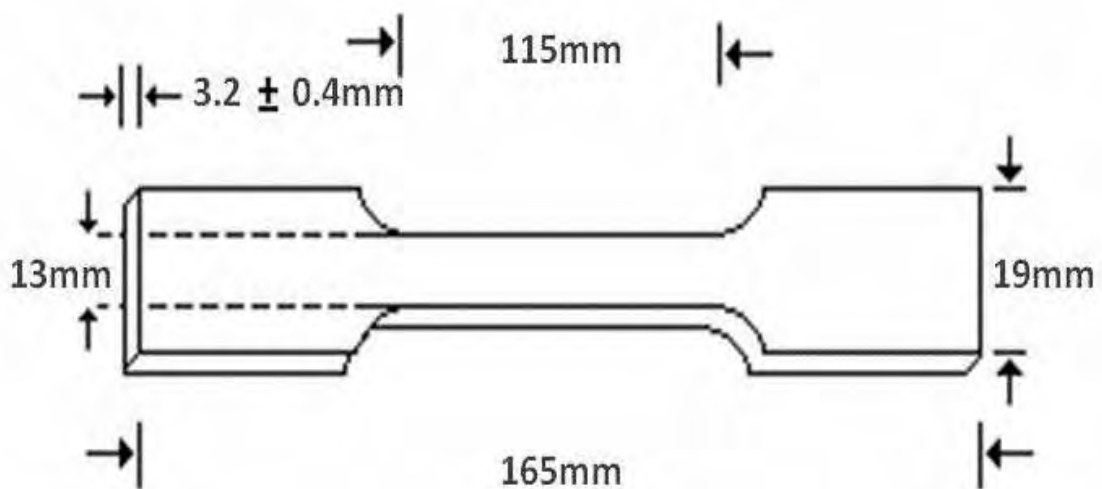


Figura 24 – Vista superior e dimensões em mm, do corpo de prova para o ensaio de tração.
Fonte: adaptado de ASTM D-638-10.

Medir a largura e espessura das amostras. As dimensões de amostras moldadas por injeção podem ser determinadas por medição real de apenas uma amostra de cada grupo depois de ter sido previamente demonstrado que a variação de cada amostra em largura e espessura seja inferior a 1%.

Colocar a amostra nas garras da máquina de ensaio, tomando o cuidado de alinhar o eixo da amostra e os apertos com uma linha imaginária que une os pontos de fixação dos apertos da máquina. A distância entre as extremidades das superfícies de prensão, quando se está utilizando amostras planas deve ser de 115mm.

Apertar as garras modo uniforme para impedir o deslizamento da amostra durante o ensaio, mas tomando cuidado para que a amostra não seja esmagada. Gravar a curva de carga-extensão da amostra e a carga e extensão, no momento da ruptura.

-Materiais empregados para o ensaio de tração

-Máquina de ensaio: a máquina de ensaio deve ter um membro fixo e um membro móvel com superfície de aderência (Figura 25). Além de garras para segurar a amostra de teste entre o elemento fixo e o elemento móvel da máquina de ensaio. Pode ser qualquer tipo de rede fixa ou de auto-alinhamento. As garras são profundamente marcadas ou serrilhadas com um padrão de corte grosseiro e têm sido consideradas satisfatórias para a maioria dos termoplásticos.



Figura 25 – Equipamento utilizado para o ensaio de tração.

O equipamento utilizado para este ensaio foi a máquina universal de ensaio de marca Instron, modelo 5569, programada com 5mm/min de velocidade e célula de carga de 50kN, com distância de 115mm entre as garras.

3.2.5 Metodologia para o ensaio de determinação da resistência ao impacto, norma ASTM D-256-00

Conforme a norma ASTM D-256-00, o teste de impacto do pêndulo indica a energia necessária para quebrar as amostras com parâmetros específicos de tamanho, entalhe e velocidade do pêndulo no momento do impacto.

Deve-se ter muito cuidado na interpretação dos resultados do teste uma vez que podem sofrer influência, dependendo:

- Método de fabricação incluindo, mas não limitado à tecnologia de processamento, condições de moldagem, *design* do molde e tratamentos térmicos;
- Método usado para chanfrar as amostras;
- Velocidade da ferramenta de entalhe;
- Qualidade do entalhe;
- Tempo entre entalhamento e ensaio;
- Espessura da amostra;
- Largura da amostra;
- Condições ambientais.

Para materiais duros, o pêndulo pode não ter a energia necessária para completar a quebra das fibras e lançar a peça quebrada. Os resultados obtidos a partir das amostras "não-quebradas" devem ser considerados como um desvio do padrão e não devem ser relatados como um resultado normal.

A importância dos métodos de impacto encontra-se principalmente nas áreas de controle da qualidade e especificação de materiais. Se dois grupos de amostras do mesmo material mostrar diferenças significativas na absorção de energia, tipo de pausas, larguras de críticas, ou temperaturas críticas, pode assumir-se que foram feitas de materiais diferentes ou que foram expostas a diferentes processamentos ou diferentes condições de ambiente.

Os corpos de prova devem estar em conformidade com as dimensões indicadas na norma ASTM D-256-00 (Figura 26). As amostras devem ter uma largura entre 3mm e 12.7mm. As amostras que possuírem uma largura inferior a 12.7mm deverão ter o entalhe feito no menor lado. Caso contrário, as amostras devem ser entalhadas no lado paralelo à direção da pressão de moldagem.

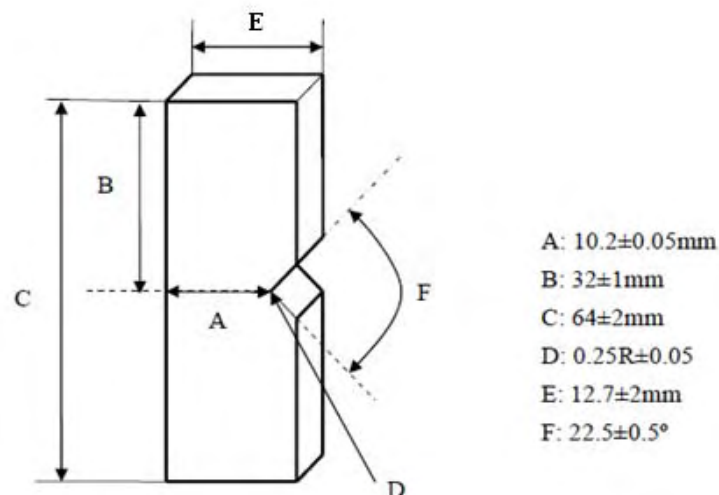


Figura 26 – Modelo e medidas do corpo de prova para o ensaio de impacto.
 Fonte: Jeong, 2004.

De preferência, devem-se utilizar dez ou mais amostras para cada grupo na realização do teste de impacto. Estimar a energia de quebra da amostra e selecionar um pêndulo adequado. Utilizar o padrão de pêndulo mais leve do que o esperado para quebrar a amostra com uma perda não mais do que 85% da sua energia.

Medir a largura e a espessura após chanfrar cada amostra. Medir a largura na região do entalhe. É necessário soltar o pêndulo e anotar o registro de energia que

fica após a quebra da amostra. Anotar a energia gasta para a quebra de cada amostra para realização dos cálculos necessários.

-Materiais empregados para o teste de impacto por pêndulo

-Máquina de ensaio: a máquina de ensaio é constituída por uma base maciça, sobre a qual um torno para segurar a amostra que está ligado, através de uma estrutura rígida e rolamentos, um martelo de tipo pendular, conforme mostra a Figura 27.

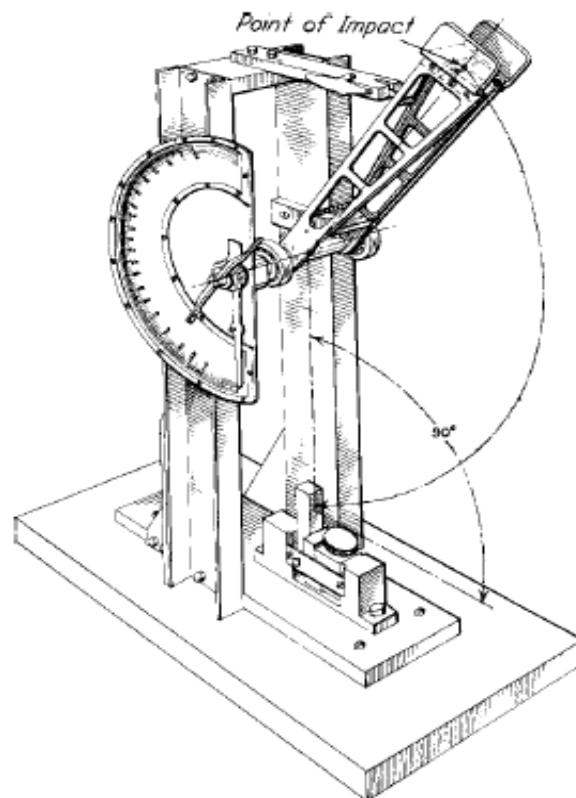


Figura 27 – Exemplo de máquina para o ensaio de impacto de pêndulo.
Fonte: ASTM D-256-00.

A máquina também deve ter um mecanismo de registro que permita a leitura, para indicar a energia em excesso que fica no pêndulo após a quebra da amostra. Opcionalmente, um painel digital ou um computador podem ser usados no lugar do mostrador e indicador para medir a perda de energia e indicar a energia de ruptura

da amostra. O pêndulo deve consistir em um único, ou vários braços, com um rolamento em uma das extremidades e uma cabeça contendo o martelo em outra. O braço deve ser suficientemente rígido para manter as folgas adequadas e as relações geométricas entre os componentes da máquina e a amostra, e para minimizar as perdas de energia vibracional que estão sempre incluídos na resistência ao impacto medido.

-Entalhadora: foi necessária uma máquina para fazer os entalhes nos corpos de prova, como recomenda a norma. O corpo de prova deve ser entalhado no ponto médio do comprimento, em forma de “V”, com profundidade de 2,5mm. O equipamento utilizado foi a entalhadora de marca Ceast (Figura 28).



Figura 28 – Vista parcial da entalhadora usada para entalhar os corpos de prova conforme a ASTM D-256-00.

-Guilhotina: necessária para cortar os corpos de prova no tamanho prescrito pela norma ASTM D-256-00.

3.2.6 Método do ensaio de índice de fluidez, norma ASTM D-1238-10

Segundo a norma ASTM D-1238-10, este método de ensaio é utilizado para o controle de qualidade dos ensaios em materiais termoplásticos. Os dados produzidos por este método de ensaio servem para indicar a uniformidade da taxa de fluxo do polímero.

O equipamento deve ser constituído por um aço aquecido termostaticamente e uma matriz cilíndrica que contém um orifício na extremidade inferior. O equipamento deve ter a capacidade de aquecimento e manter a temperatura no interior do furo do cilindro.

A limpeza pode influenciar significativamente o resultado, sendo necessário limpar o tambor com um algodão limpo, várias vezes, lembrando que o molde, o tambor, e o êmbolo são mais facilmente limpos enquanto quentes.

Ativar o dispositivo de tempo automático do equipamento. Selecionar as condições de temperatura e carga do material, que no caso foi a condição do polipropileno a 230°C e 2,16kg. Verificar o diâmetro do furo do molde em intervalos frequentes na temperatura de $23\pm 5^\circ\text{C}$. Examinar visualmente o molde para verificar se não está danificado ou arranhado. Definir a temperatura de acordo com o material, inserir o molde e o pistão dentro do furo.

Ajustar o sistema de sincronismo automático para operar dentro de $6.35\pm 0.25\text{mm}$ para materiais com as taxas de fluxo de até 10g/10min. Remover o pistão do orifício, dentro de 60s, carregar o cilindro com uma porção da amostra, de acordo com a taxa de fluxo esperada, reinserir o pistão e adicionar o peso apropriado. Ajustar o peso de carga de modo que o pistão esteja na posição correta no final do período de pré-aquecimento.

Iniciar o ensaio ligando o dispositivo de temporização, que monitora o período de pré-aquecimento, permitindo que o material amoleça e comece a derreter. O período de pré-aquecimento deve durar $07 \pm 0,5$ min. Ao final do tempo de pré-amolecimento, o sistema de temporização automática inicia a medição do tempo que leva para que, o pistão se desloque, na distância pré-selecionada. Gravar o tempo com a aproximação de 0,1s para o pistão completar a distância escolhida.

-Materiais empregados para o ensaio de índice de fluidez

- Plastômetro: é utilizado para a monitoração laboratorial das características de vazão de resinas plásticas. O equipamento (Figura 29) mede a velocidade de descida do pistão permitindo a medição do índice de fluidez em tempo real com seleção automática do comprimento do deslocamento.



Figura 29 – Exemplo do plastômetro utilizado no ensaio de índice de fluidez.

O equipamento utilizado foi o plastômetro de marca DSM Instrumentação Científica Ltda, modelo MI-1.

3.2.7 Método da micrografia de superfície

As micrografias ópticas por transmissão e por reflexão (Figura 30) são utilizadas para avaliar a superfície dos corpos de prova, identificar e avaliar o aprisionamento de bolhas e defeitos na superfície do material e conformação do compósito.



Figura 30 – Desenho esquemático de microscópio óptico.
Fonte: adaptado de Dedavid *et al.*, 2007.

Na realização da análise por micrografia de superfície, a sala deve estar climatizada a 24°C, para a conservação do equipamento e para que os corpos de prova submetidos à análise não sofram com alterações climáticas.

O microscópio óptico é ligado a um computador, onde um software específico grava as imagens e faz a ampliação de 2000x, a qual não é recomendada justamente por ser simulada em um software.

-Materiais empregados para a micrografia de superfície

-Microscópio Óptico: para as análises morfológicas do compósito plástico-madeira foi utilizado um microscópio óptico de marca Olympus BX51M com câmera de aquisição de imagens Olympus UC30 com capacidade para ampliações de 20x, 50x, 100x, 200x, 500x e 1000x além de ter zoom digital que pode chegar até 2000x realizado por software. O software utilizado para as análises é o AnaliSYS da Olympus.

3.2.8 Método da microscopia eletrônica de varredura

Segundo Dedavid *et al.* (2007), um microscópio eletrônico de varredura (MEV) utiliza um feixe de elétrons permitindo melhor resolução nas imagens. Pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida, sendo um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos e sua utilização é comum em biologia, odontologia, farmácia, engenharia, química, metalurgia, física, medicina e geologia.

Ainda segundo o mesmo autor, outra característica importante do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da grande profundidade de campo. Permite, também, o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica.

Para a visualização da imagem, é necessário haver interação entre o feixe eletrônico com a amostra. No caso de materiais não-condutores, é necessário fazer o recobrimento por deposição de íons metálicos de ouro, para que os elétrons possam transitar na amostra, transmitindo assim a imagem.

A sala onde o microscópio eletrônico de varredura se encontra (Figura 31) deve estar climatizada a 24°C, e não pode haver ruídos ou iluminação abundante,

pois estes fatores interferem na transmissão eletrônica. O equipamento trabalha através do vácuo, sendo necessário um tempo prévio antes da visualização das imagens, para que o equipamento possa retirar o ar de seu compartimento. Ao término da MEV, também é necessário aguardar até que o equipamento esteja pronto para abrir.



Figura 31 – Vista parcial do microscópio eletrônico de varredura.

-Materiais empregados para a microscopia eletrônica de varredura

- Microscópio eletrônico de varredura: para a visualização do comportamento da farinha de madeira com o polipropileno foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura de marca Zeiss, modelo EVO LS15.

- Metalizadora: para o recobrimento por deposição de íons metálicos das amostras, foi necessária a metalizadora da marca Zeiss.

3.2.9 Método do ensaio de Envelhecimento Artificial por Radiação Ultravioleta (UV), norma ASTM G-155-05.

Segundo a norma ASTM G-155-05, este ensaio abrange os princípios básicos e procedimentos operacionais para a utilização de luz de xenônio e aparelho de água, destinados a reproduzir os efeitos de intempéries que ocorrem os materiais são expostos à luz solar (direta ou através da janela) e umidade em forma de chuva ou orvalho. Esta prática é limitada aos procedimentos para a obtenção, medição e controle das condições de exposição.

A utilização deste aparelho destina-se a induzir alterações de propriedades associadas com as condições de uso final, incluindo os efeitos de luz solar, umidade e calor, e os riscos não se destinam a simular a deterioração causada por fenômenos atmosféricos localizados, tais como a poluição atmosférica, o ataque biológico e a exposição de água salgada.

Para garantir a padronização e precisão, os instrumentos associados ao aparelho de exposição (isto é, temporizadores, termômetros, sensores de bulbo úmido, sensores de bulbo seco, sensores de umidade, sensores de UV, radiômetros) requerem calibração periódica para garantir a repetição dos resultados dos testes. O procedimento e a programação da calibração dos instrumentos devem estar de acordo com as instruções do fabricante.

Segundo a norma ASTM G-155-05, primeiramente deve-se determinar quais propriedades dos corpos de prova serão avaliadas. Após determinar as propriedades, anexar as amostras nos suportes no equipamento de tal maneira que não fiquem expostas a qualquer tensão aplicada, conforme mostra a Figura 01.



Figura 32 – Vista parcial das amostras do wpc no equipamento de ensaio de envelhecimento.

Para garantir que as condições de exposição sejam uniformes, deve-se preencher todos os espaços, usando painéis de materiais resistentes à corrosão, se necessário.

- Materiais empregados para o ensaio de envelhecimento

- Radiômetro: usado para monitorar e controlar a quantidade de energia radiante recebida na amostra.

- Termômetro: usado para medir a temperatura do processo.

- Equipamento com lâmpada de Xenônio: a fonte de luz do equipamento deve emitir radiação abaixo de 270nm no ultravioleta através do espectro visível e no infravermelho. A fim de que os arcos de xênon simulem a luz terrestre, os filtros devem ser utilizados com comprimento de onda curta, para remover a radiação UV. Para simular luz filtrada através de um vidro de janela, devem-se utilizar filtros para reduzir a comprimentos de onda com irradiação de 310nm. Além disso, os filtros para eliminar a radiação de infravermelhos podem ser usados para evitar o aquecimento das amostras, os quais podem causar degradação térmica não experimentada durante as exposições ao ar livre.



Figura 33 – Vista parcial do equipamento Wheater Ometer 2.

Foi utilizado o equipamento padrão para ensaio de envelhecimento de marca Atlas Weather-Ometer modelo 65 XW-WR1, operando com lâmpada de xenônio, com carrossel rotativo e controles automáticos da temperatura e da umidade relativa no interior da câmara de envelhecimento.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo faz parte da 4ª etapa das ações metodológicas, onde se descreve as características do compósito plástico-madeira. Foram produzidas em laboratório quatro traços (conforme Tabela 5), sendo que para cada formulação produziram-se quarenta corpos de prova. Para cada conjunto de corpo de prova foram realizadas oito análises.

4.1 Resultados do ensaio de absorção de água e inchamento em espessura

Os testes de absorção de água e inchamento em espessura foram feitos com base na norma ASTM D-570-98.

4.1.1 Absorção de água

A presença de compatibilizantes e aditivos nos compósitos plástico-madeira podem agir contra a umidade e absorção de água nas fibras da madeira. Porém, neste estudo, os compósitos foram produzidos sem nenhum agente compatibilizante ou aditivo.

A norma ASTM D-570-98 recomenda que para o teste de absorção de água, o corpo de prova deve ter a forma de uma circunferência de medida de 50,8mm de diâmetro e 3,2mm de espessura com variações admissíveis de $\pm 0,18$ mm para moldado-quente e $\pm 0,30$ mm para moldado-frio.

Os corpos de prova que foram injetados tinham o formato de placas quadradas de 6cm^2 , sendo necessário então, a retirada dos corpos de prova nas dimensões prescritas pela norma ASTM D-570-98, como mostra a Figura 34, com um cortador radial alocado em uma furadeira de bancada, onde suas hastes são posicionadas na medida desejada.



Figura 34 – Processo feito para cortar os corpos de prova.

Após a retirada dos corpos de prova, os mesmos foram pesados e medidos com micrômetro digital, para então serem levados à estufa por 01h à 100°C . Após este período, foram imediatamente medidos e pesados novamente. O procedimento se repetiu após 2h de imersão, 24h de imersão, 1 semana e 2 semanas de imersão (Figura35).



Figura 35 – Corpos de prova imersos em água destilada e corpos de prova sendo pesados.

Os testes de absorção de água e inchamento em espessura foram realizados no Laboratório de Processamento da Madeira, da Faculdade de Engenharia de Bauru – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP.

Nos resultados do ensaio de absorção de água, pode-se observar que o compósito com 30% de farinha de madeira obteve maior índice de absorção, devido à maior quantidade de matéria orgânica, conforme a Tabela 9.

O compósito que apresentou maior peso foi o de 30%FM, causado pelo maior percentual de carga.

Tabela 9 – Média dos valores obtidos pelo teste de absorção de água (em percentual).

Traço	Peso inicial(g)	Varição de massa após estufa(%)	Varição de massa após 2h de imersão(%)	Varição de massa após 24h de imersão(%)	Varição de massa após 1semana de imersão(%)	Varição de massa após 2 semanas de imersão(%)
1	5,5486	(-) 0,09	0,05	0,01	0,30	0,24
2	5,7817	(-) 0,13	(-) 0,02	0,13	0,58	0,49
3	5,9554	(-) 0,27	(-) 0,03	0,18	0,93	1,01
4	6,1498	(-) 0,39	0,06	0,89	1,49	1,02

Pode ser observado na Tabela 9 que o peso após a estufa diminuiu, caracterizando a presença de umidade nos compósitos antes do processo de secagem. Os compósitos apresentaram um aumento na variação de massa considerável após 1 semana de imersão. O compósito de 10%FM obteve uma variação de massa total em 0,49%. Para o compósito de 20%FM a variação de massa ao final de duas semanas foi de 1,01% e para o compósito de 30%FM a variação de massa total no final do processo foi de 1,02%.

Nota-se na Figura 36, que houve uma redução no peso dos corpos de prova após 2h de imersão, se comparados ao peso inicial.

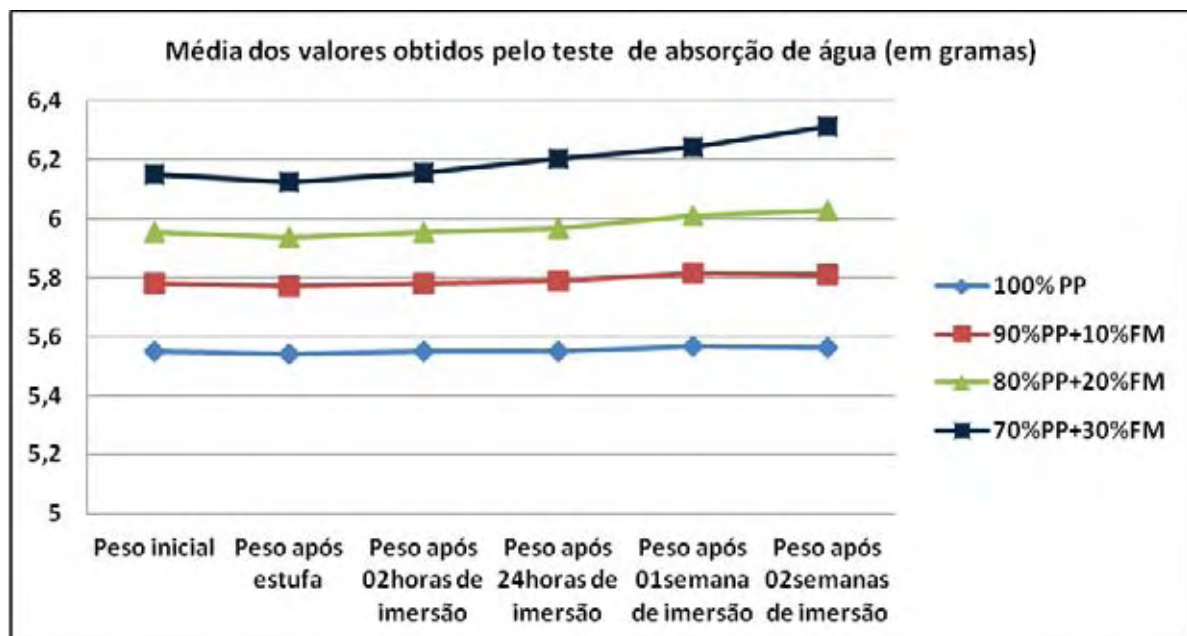


Figura 36 – Gráfico da média dos valores de absorção de água.

De maneira geral, os compósitos com 30% de farinha de madeira tiveram maior índice de absorção de água do que os compósitos com 10% de farinha de madeira. Os compósitos de 100% polipropileno tiveram um índice baixo na absorção de água, comprovando a sua característica de não absorver água.

Yamaji (2004) em sua pesquisa verificou que os compósitos com 30% de serragem madeira também apresentaram maior absorção de água, e que a absorção

de água é menor nos compósitos com agente compatibilizante, pois este pode ter um efeito de proteção contra a penetração da água.

4.1.2 Inchamento em espessura

Os testes de absorção de água e inchamento em espessura foram realizados no Laboratório de Processamento da Madeira, da Faculdade de Engenharia de Bauru – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, UNESP.

O inchamento em espessura dos compósitos variou entre 0,12% e 2,95%. Os maiores valores foram observados para o compósito com 30% de farinha de madeira, onde o inchamento em espessura foi de 2,95% conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Média dos valores obtidos pelo teste de inchamento em espessura (em milímetros).

Traço	Espessura inicial (mm)	Varição de espessura após estufa(%)	Varição de espessura após 2h de imersão(%)	Varição de espessura após 24h de imersão(%)	Varição de espessura após 1semana de imersão(%)	Varição de espessura após 2semanas de imersão(%)
1	3.088	1,23	1,39	0,29	0,61	1,10
2	3.122	2,97	0,96	1,31	1,24	1,47
3	3.144	0,50	1,11	1,43	1,97	2,22
4	3.151	0,12	0,82	1,36	2,09	2,95

A variação total de espessura para o compósito de 10%FM foi de 1,47%. O compósito de 20%FM obteve variação de espessura em 2,22% e o compósito de 30%FM obteve uma variação de espessura total no final do processo em 2,95%.

O compósito que apresentou a menor variação em espessura, no final do processo foi o com 10%FM e o que mais apresentou variação de espessura foi o compósito de 30%FM.

É possível observar, na Figura 37, que quanto maior a porcentagem de FM na composição, maior o inchamento em espessura no final de 2 semanas de imersão.

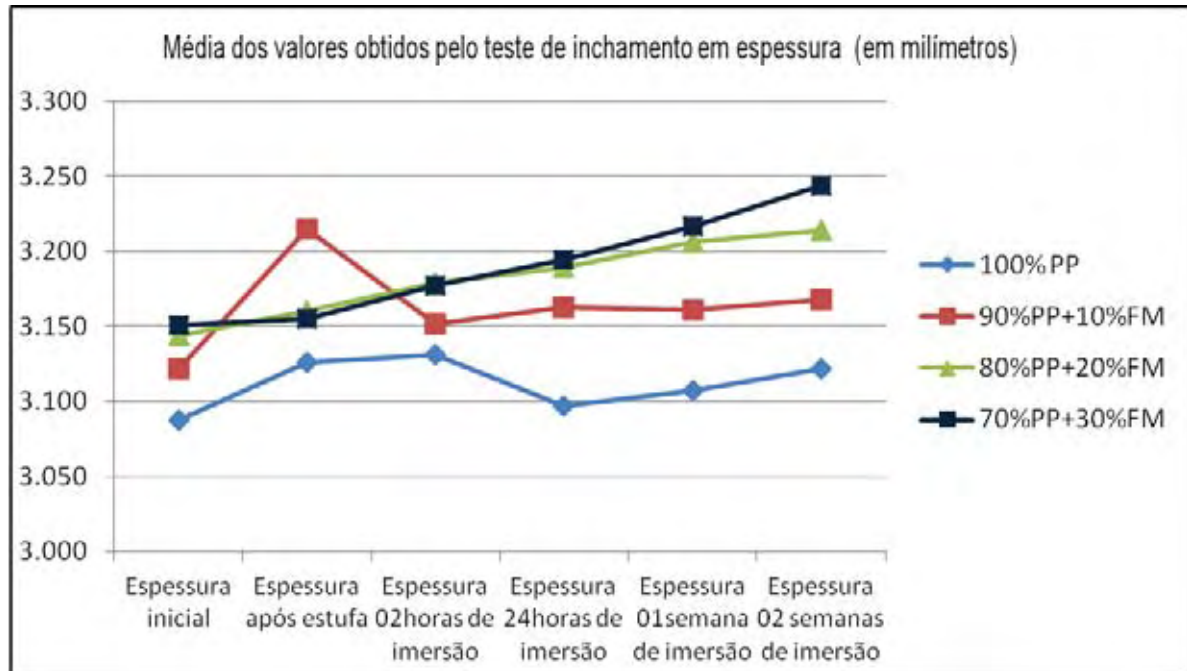


Figura 37 – Gráfico da média dos valores de inchamento em espessura.

4.2 Resultados do ensaio de tração

Segundo a norma ASTM D-638-10, as propriedades de tração podem fornecer dados úteis para plásticos de engenharia. No entanto, por causa do alto grau de sensibilidade exibida por muitos plásticos à taxa de tração e às condições ambientais, os dados obtidos por este método de teste não podem ser considerados

válidos para aplicações que envolvam tempo de esforço ou em ambientes muito diferentes das condições de ensaio.

Esta sensibilidade à taxa de esforço e do meio ambiente necessita de ensaios em uma escala de tempo de carga ampla (incluindo impacto e fluência) e uma gama de condições ambientais, para que as propriedades de tração forem suficientes para fins de projeto de engenharia. O módulo de elasticidade (E) fornece uma indicação da rigidez do material, sendo inversamente proporcional à temperatura e é dado pela equação (1), ou seja:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

Onde σ é a tensão na qual se obtém a deformação real ε .

O teste de tração foi realizado no Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, onde é possível observar, através da Figuras 38 e 39, a elasticidade do corpo de prova de 100%PP, em comparação com o corpo de prova com 30%FM.



Figura 38 – Teste de tração em corpos de prova com 30%FM.

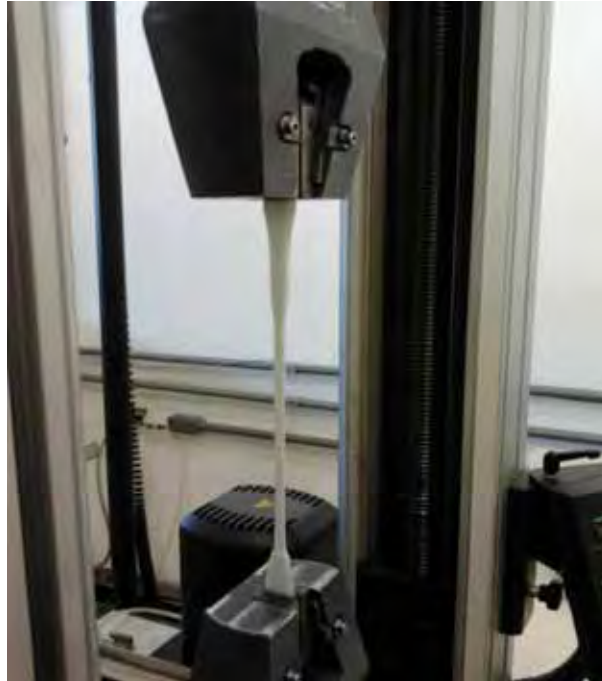


Figura 39 – Teste de tração em corpos de prova com 100%PP.

Os compósitos elaborados com 30% de farinha de madeira apresentaram menor deformação na ruptura, devido ao maior percentual de fibras na sua composição, conforme resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Média dos resultados obtidos para o teste de tração.

Traço	Tensão no Escoamento (MPa)	Deformação no Escoamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (%)
1	22,12	9,17	1,00	18,80	367,01
2	21,64	6,05	1,39	20,28	9,90
3	20,97	3,84	1,79	20,59	4,59
4	20,13	2,62	2,17	20,06	2,76

Caraschi e Leão (2002), citam que as propriedades do PP virgem, com temperatura de injeção em 190°C para a tensão na ruptura está entre 26,83MPa e 30,72MPa, e no módulo de elasticidade os valores se encontram entre 1,514GPa e 1,868GPa.

Percebe-se que as propriedades do PP reciclado para tensão na ruptura, obtidas neste trabalho estão 42,71% e 49,19 % respectivamente menores. No módulo de elasticidade os valores estão respectivamente, 51,4% menor e 16,16% maior, em relação aos índices para PP virgem.

A formulação com 30% de farinha de madeira apresentou, em todos os resultados, valores baixos referente ao desvio padrão (Tabela 12), mostrando ser um compósito mais homogêneo.

Tabela 12 – Desvio Padrão dos resultados para o teste de tração.

Traço	Tensão no Escoamento (MPa)	Deformação no Escoamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (%)
1	0,63	0,17	0,04	0,55	17,03
2	0,17	0,15	0,02	0,59	1,37
3	0,25	0,13	0,05	0,33	0,31
4	0,15	0,07	0,04	0,15	0,15

Observa-se na Figura 40, que os corpos de prova de 10% de farinha de madeira apresentaram maior tensão no escoamento, chegando a uma média de 21MPa, devido à maior quantidade de polímero em sua composição.

Correa *et al.* (2003) desenvolveu um compósito com PP-Ho e PP-MAH com farinha de madeira *Pinus* retido na peneira de mesh45, serragem de *Pinus caribea* e resíduos de *Pinus* de madeiras. Para o compósito com 50%PP-Ho+50%FM sem compatibilizante ele obteve um resultado de 24,7 MPa em tensão no escoamento, 2,0% em deformação no escoamento, 3,3 GPa em módulo de elasticidade, 24,4MPa na tensão na ruptura e 2,2% na deformação na ruptura.

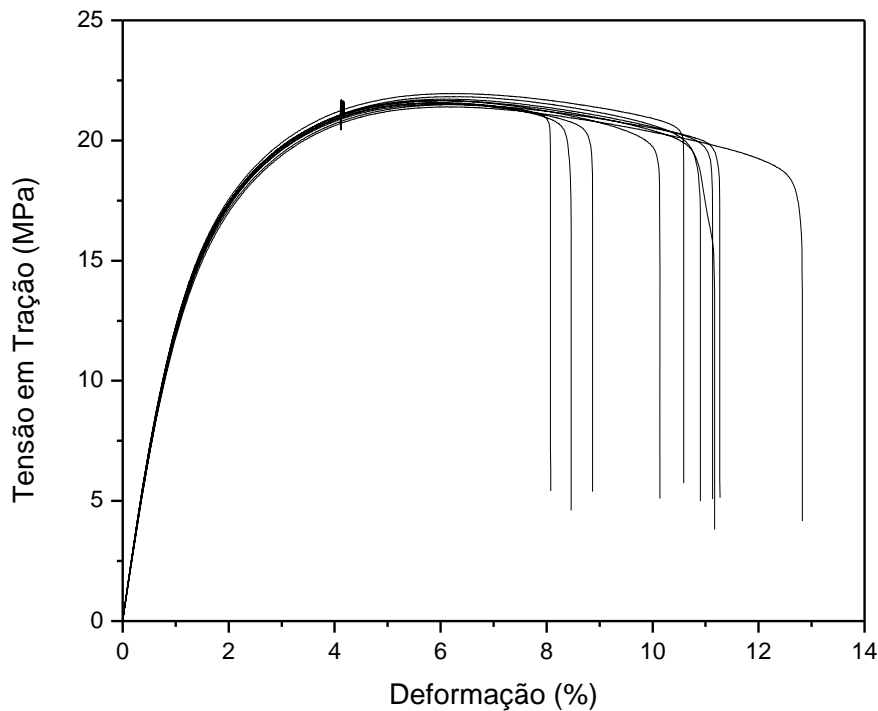


Figura 40 – Curva Tensão vs Deformação em Tração – 10% de farinha de madeira.

Percebe-se que no compósito 30%FM desenvolvido nesta pesquisa, o valor em tensão no escoamento é de 20,13MPa, abaixo do valor obtido por Correa *et al.* (2003), também apresenta um maior percentual na deformação e menor tensão na ruptura.

Para os compósitos desenvolvidos por Correa *et al.* (2003) com 70%PP-Ho+30%FM com compatibilizante, os resultados foram de 30,3MPa em tensão no escoamento, 5,8% em deformação no escoamento, 2,6GPa em módulo de elasticidade, 24,6MPa em tensão na ruptura e 8,0% de deformação na ruptura. Percebe-se um aumento de tensão, módulo de elasticidade e também de deformação se comparados com esta pesquisa. Tais resultados mostram a influência do compatibilizante no compósito plástico-madeira.

Machado *et al.* (2010) observou em seu trabalho que o limite de resistência à tração na ruptura não apresentou alterações significativas com a incorporação de pó de madeira ao polímero. A propriedade mecânica que apresentou maior incremento

com a adição do pó de madeira foi o módulo de elasticidade, apresentando aumento de 100% para o compósito com 30% de pó de madeira e 70% de PHB e, devido ao aumento da rigidez do material, o alongamento percentual apresentou, para esse compósito, redução de 29%, em relação ao PHB puro.

Yamaji (2004) observou que o aumento no percentual de madeira, nos compósitos de 10% para 30% com PP diminuiu a resistência à tração, tanto nos compósitos elaborados com serragem, quanto os compósitos elaborados com pó-de-lixia. Tal observação também foi percebida nos ensaios realizados nesta pesquisa.

Hillig *et al.* (2008) obteve um resultado de 25,70MPa de resistência à tração no compósito de v-HDPE +30% de aglomerado, para o compósito com 30% de eucalipto, obteve um resultado de 25,44MPa e 22,76MPa para o compósito com 30% de MDF.

Alfaro (2010) realizou o ensaio de tração no compósito de PP+20% de cinza de casca de arroz, obtendo 29,1MPa em tensão no escoamento, um resultado 8,13MPa a mais que o compósito com 20%FM produzido nesta pesquisa.

Hillig *et al.* (2006) verificou que, para compósitos confeccionados com HDPE e serragem de *Pinus sp.*, nas proporções de 20 e 30% de serragem, a resistência à tração é maior no processo de extrusão com dupla rosca em ambas as proporções usadas, e que existe uma tendência de aumento com o aumento da proporção de serragem.

4.3 Resultados do ensaio de impacto por pêndulo

Segundo a norma ASTM D-256-00, o ensaio de impacto caracteriza-se por submeter ao corpo de prova uma força brusca e repentina, que deve rompê-lo. Os ensaios de impacto por pêndulo, foram realizados a uma temperatura ambiente de 23°C, o equipamento foi configurado com martelo de 2.75J e os entalhes, nos corpos de prova, foram feitos com medida de 2,5mm. Os corpos de prova tinham espessura

de 3.30mm, largura de 12.77mm e comprimento de 63.5mm. O cálculo da resistência ao impacto é obtido pela equação (2), indicada a seguir:

(2)

$$RI = \frac{V \cdot f \cdot c}{e}$$

Onde:

RI = Resistência ao impacto (J/m).

V = Valor lido no aparelho (ft.lb), energia cinética absorvida pelo corpo de prova no momento do impacto.

f = Fator de conversão de ft.lb para J (1,3558 J/(ft.lb)).

e = Espessura do corpo de prova medida no eixo de entalhe (mm).

c = Fator de conversão de mm para m (1000mm/m).

Para o teste de impacto foi preciso fazer os entalhes nos corpos de prova em uma máquina entalhadora, com profundidade de 2,5mm, como recomenda a norma ASTM D-256-00 (Figura 41).



Figura 41 – Corpos de prova utilizados no ensaio de impacto.

Depois de realizados os entalhes nos corpos de prova, os mesmos foram posicionados para a realização do ensaio de impacto por pêndulo, conforme mostra a Figura 42. O teste para determinar a resistência ao impacto foi realizado no Departamento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar.



Figura 42 – Equipamento utilizado para o ensaio de impacto.

Nos ensaios de impacto os corpos de prova de 100% polipropileno não romperam. Nos corpos de prova com 10% de farinha de madeira, a resistência ao impacto foi de 41,06J/m, a maior dos compósitos, como pode ser visto na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados da resistência ao impacto para as quatro formulações.

Traço	Resistência ao Impacto							
	1		2		3		4	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
[J/m]	41,06	5,20	33,94	2,10	34,94	1,44	75,55	7,55
[J/m ²]	3998,1	506,4	3304,7	204,4	3402,1	139,8	7355,9	735,5
[kJ/m ²]	4,00	0,51	3,30	0,20	3,40	0,14	7,36	0,74

Observa-se pela Tabela 13, que as médias de resistência ao impacto dos compósitos de 20% de farinha de madeira para os de 30% de farinha de madeira se aproximam. O compósito que apresentou menor desvio padrão foi o de 30% de farinha de madeira.

Corea *et al.* (2003) em sua pesquisa, obteve um resultado de 36,3J/m de impacto para o compósito de 60%PP-Ho+10%PP-MAH+30%FM com compatibilizante. Um valor não muito diferente do resultado de 34,94J/m para o compósito 30%FM sem compatibilizante obtido nesta pesquisa.

Hillig *et al.* (2008) obteve um resultado de 45,91J/m de impacto para o compósito de 70%v-HDPE+30%FM, obteve um valor de 53,00J/m no compósito de 70%v-HDPE+30% de aglomerado. Para o compósito com 30% de eucalipto, obteve um resultado de 59,88J/m e 34,77J/m para os compósitos com 30% de MDF.

Alfaro (2010) realizou o ensaio de impacto no compósito de PP+20% de cinza de casca de arroz, obtendo um resultado de 2,2kJ/m², um resultado inferior ao observado nesta pesquisa, com 3,4kJ/m², mostrando que possui uma resistência ao impacto inferior ao compósito com farinha de madeira.

4.4 Resultados do ensaio de índice de fluidez

O ensaio de índice de fluidez foi realizado no Laboratório de *BIOCycle*, da Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, seguindo a norma ASTM 1238-10, na condição do polipropileno (230°C e 2,16kg). As composições foram secas em estufa por 24h a 60°C.

Calcula-se o índice de fluidez (equação 3), em g/10min como segue:

(3)

$$\text{Índice de fluidez} = (426 \times L \times d) / t$$

Onde:

L = comprimento, em cm do deslocamento do pistão;

d = densidade da resina, g/cm³, à temperatura de teste;

t = tempo, em segundos do deslocamento do pistão em L ;

426 = média das áreas em cm², do pistão e do cilindro x 600.

Os resultados do ensaio de índice de fluidez para as composições podem ser visualizados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados ensaio Índice de Fluidez

Índice de Fluidez (g/10min)			
Traço	1° Medida	2° Medida	Média (g/10min)
1	30,0	30,0	30,0
2	21,3	22,3	21,8
3	16,4	16,6	16,5
4	10,4	9,5	10,0

Pode-se observar na Tabela 14, que quanto maior o percentual de FM na composição, menor o índice de fluidez em comparação com o PP puro.

Machado *et al.* (2010) também observou que o compósito com 30%pó de madeira e 70%PHB resultou em menor índice de fluidez em relação ao PHB puro, sendo que, para muitas resinas termoplásticas reforçadas com diferentes concentrações de cargas, com a elevação da concentração de carga ocorre diminuição do índice de fluidez, com significativo aumento da viscosidade do material.

Pode-se verificar que o resultado obtido nesta pesquisa para o compósito de 20%FM, com resultado em 16,5g/10min, apresenta melhor desempenho em fluidez se comparado ao compósito de PP+20%cinza de casca de arroz produzido por Alfaro (2010) o qual obteve para o compósito, um índice de fluidez em 15,5g/10min.

4.5 Resultados da micrografia de superfície

A micrografia de superfície foi realizada no Laboratório de Anelasticidade e Biomateriais da Faculdade de Ciências da UNESP de Bauru. Para a caracterização morfológica dos compósitos através da micrografia de superfície, foi analisada a superfície dos corpos de prova submetidos ao teste de absorção de água, que possuíam as dimensões de 50.8mm de diâmetro, porém, a análise microscópica foi realizada no centro das amostras, sendo um corpo de prova para cada formulação, com ampliações de 100x, 200x e 500x, visualizadas nas Figuras 43 a 46. Não houve necessidade de preparo dos corpos de prova para a realização da micrografia de superfície.

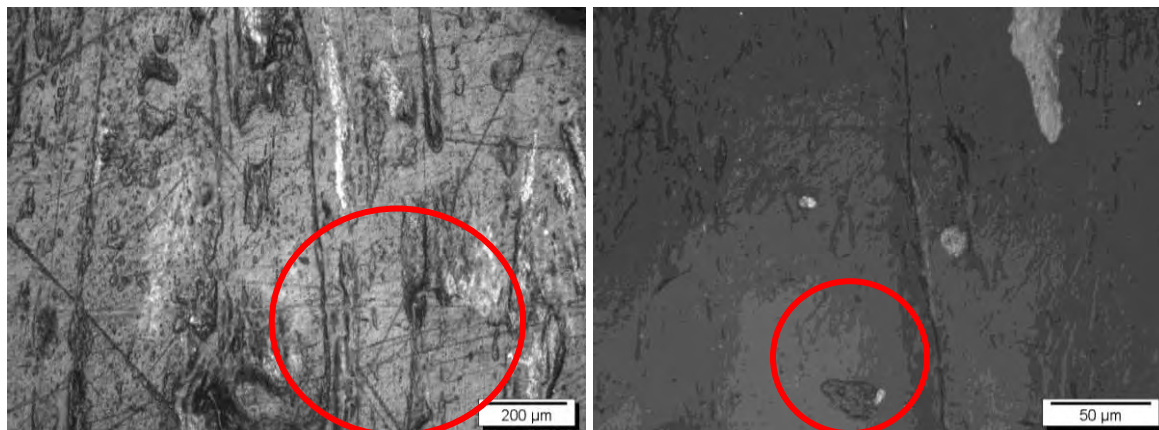


Figura 43 – Micrografia do compósito de 10%FM em ampliações respectivas de 100x e 500x.

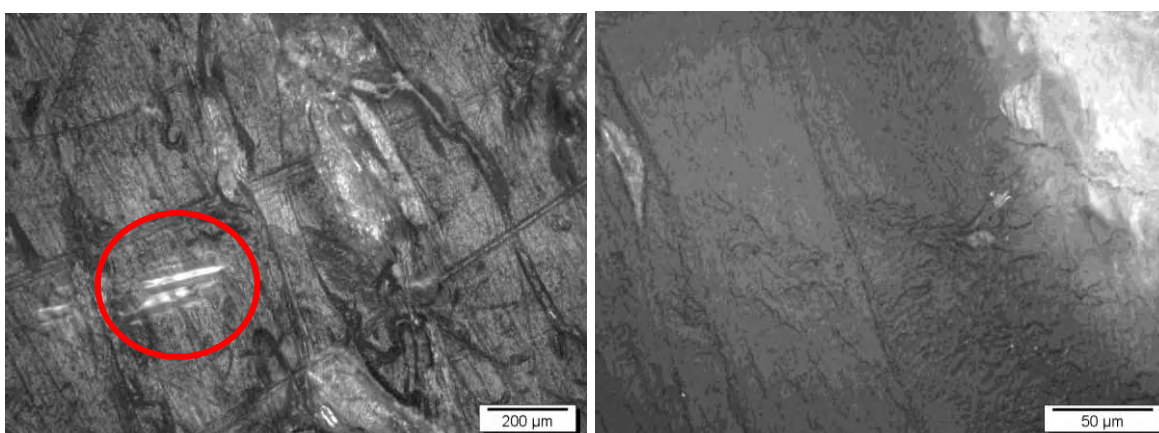


Figura 44 – Micrografia do compósito de 20%FM em ampliações respectivas de 100x e 500x.

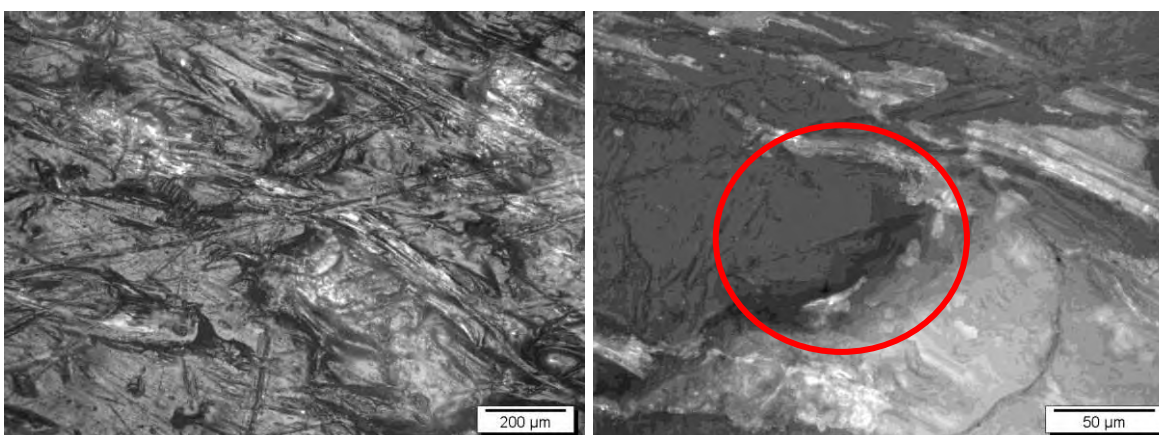


Figura 45 – Micrografia do compósito de 30%FM em ampliações respectivas de 100x e 500x.

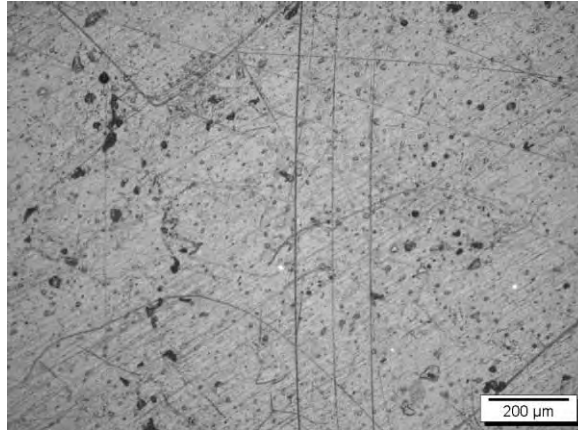


Figura 46 – Micrografia do corpo de prova com 100%PP, em ampliação de 100x.

Com a microscopia ótica, foi possível analisar a superfície das amostras com 10%FM, 20%FM e 30%FM, que mostraram ser bem homogêneas. Não apresentaram bolhas ou defeitos importantes.

Percebe-se nas imagens umas manchas brancas, como pode ser visto na Figura 44, caracterizando ser reflexo da luz, possivelmente ocasionada por algum componente do polímero. Nos compósitos com 30% FM o aspecto do compósito apresenta uma boa dispersão das fibras.

Nos compósitos com 10%FM e 20%FM é possível perceber uma maior homogeneidade na superfície, com menos ondulações, apresentando ser mais contínua do que no compósito com 30%FM.

Nas micrografias dos compósitos de 10% FM e 100%PP, é possível perceber algumas bolhas superficiais e alguns riscos, mostrando serem mais suscetíveis às interferências causadas pelo manuseio ou armazenamento.

Corradini *et al.* (2008) realizou a microscopia ótica em compósitos de amido/glúten de milho/glicerol reforçados com diferentes percentuais de fibra de sisal, verificando uma boa dispersão das fibras de sisal na matriz. No entanto, as fibras eram de tamanhos diferentes e a distribuição das fibras dentro da matriz foi aleatória. Observou ainda que as fibras foram desfibriladas durante processamento, o que pode aumentar a adesão entre a fibra de sisal e a matriz.

Yoshiga *et al.* (2004) verificou com a microscopia ótica em seus compósitos de PVC reciclado e carbonato de cálcio em pastas vinílicas que alguns corpos-de-

prova preparados possuíam superfícies lisas, enquanto que a adição de PVC reciclado e carbonato de cálcio provocaram a formação de superfícies rugosas e superfícies de fratura bastante irregulares.

4.6 Resultados da microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Na caracterização morfológica dos compósitos através da microscopia eletrônica de varredura, foi analisada a superfície dos corpos de prova submetidos ao teste tração. As amostras analisadas tinham o tamanho de 1cm^2 (Figura 47) com ampliações de 500x, 2.550x e 7.250x, visualizadas através das Figuras 47 a 49. A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no Laboratório de Anelasticidade e Biomateriais da Faculdade de Ciências da UNESP de Bauru.



Figura 47 – Amostra sendo preparada para o recebimento da camada de íons.

Para que as amostras pudessem ser visualizadas através do microscópio eletrônico de varredura, que trabalha com visualização por elétrons, foi necessário

fazer o recobrimento por deposição de íons metálicos de ouro, para que os elétrons possam transitar na amostra, transmitindo assim a imagem.

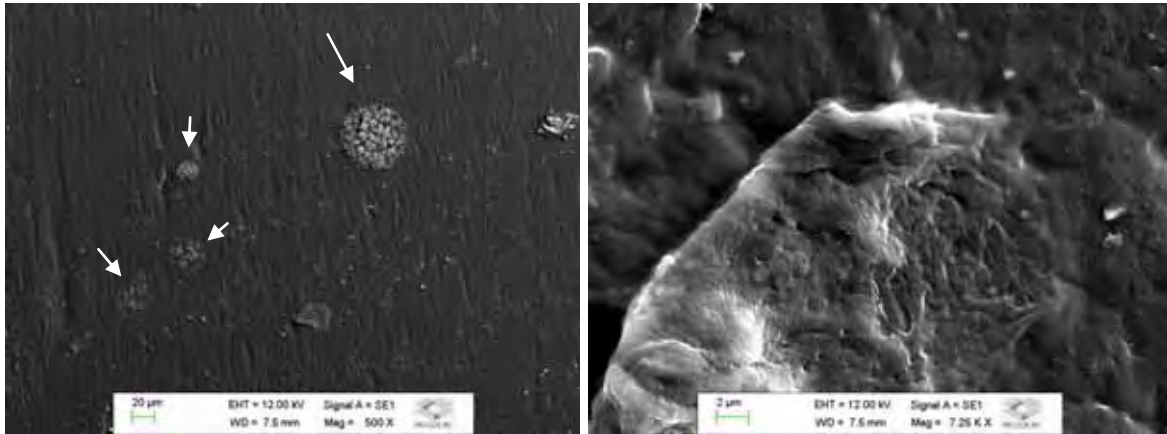


Figura 48 – MEV do compósito de 10%FM em ampliação de 500x e 7.250x, respectivamente.

É possível observar na MEV em 500x do compósito de 10%FM a estrutura polimérica, caracterizada por pontos circulares na micrografia. Observa-se ainda, na MEV em ampliação de 7.250x, o detalhe da aglutinação das partes do compósito.

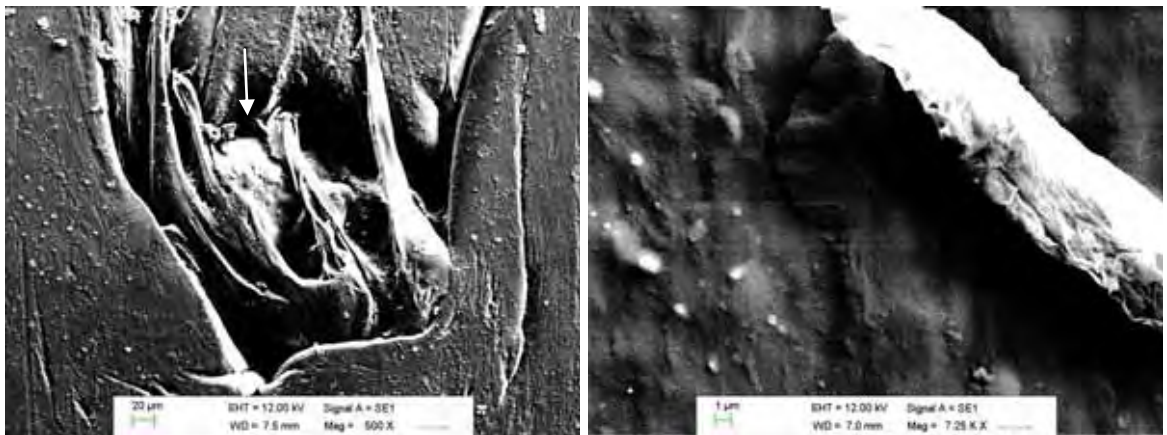


Figura 49 – MEV do compósito de 20%FM em ampliação de 500x e 7.250x, respectivamente.

Na MEV do compósito de 20%FM, em ampliação de 500x, é possível visualizar a aderência das fibras de madeira com o polipropileno. Hillig *et al.* (2006) verificou a existência de alguns agregados de fibras em compósitos confeccionados com HDPE e serragem de *Pinus sp.*, nas proporções de 20 e 30% de serragem, em

extrusora com dupla rosca em comparação com compósitos confeccionados em extrusora de rosca única.

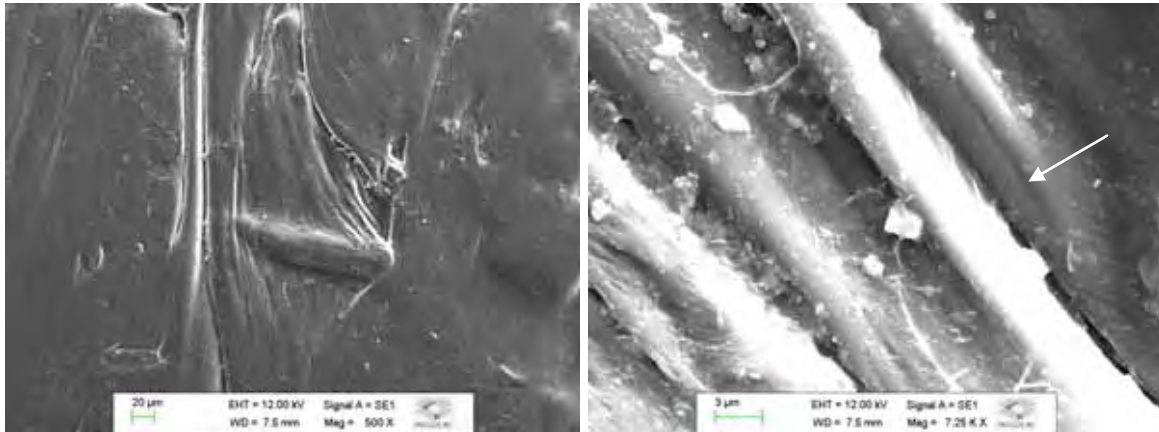


Figura 50 – MEV do compósito de 30%FM em ampliação de 500x e 7.250x, respectivamente.

Observa-se na MEV de ampliação em 7.250x, que o compósito com 30%FM apresentou agregado de fibras. Machado *et al.* (2010) observou que o pó de madeira age como agente nucleante do polímero, confirmando o aumento do grau de cristalinidade do polímero com a incorporação do pó de madeira.

Mondardo (2006) verificou, em MEV de compósito com PP/EVA e farinha de madeira a não compatibilidade e a fraca adesão da matriz polimérica às fibras de madeira. A superfície se apresenta lisa, sem defeitos, constatada nos diferentes graus de aumento em que a amostra foi analisada.

Albano *et al.* (2001) constatou através de MEV, em compósitos de PP+FM e PP+sisal, o aumento da adesão interfacial obtida com a adição de agentes compatibilizantes com melhora da dispersão das fibras.

Hillig (2006) observou através de MEV que os compósitos confeccionados com *Pinus* e MDF apresentaram melhor distribuição das fibras de madeira no HDPE, enquanto os compósitos a partir de eucalipto e aglomerado apresentaram agregados de fibras em algumas regiões.

4.7 Resultados do Ensaio de Envelhecimento Artificial por Radiação Ultravioleta (UV)

Segundo a norma ASTM G-155-05, o ensaio simula as condições de uso final do material, incluindo os efeitos da luz solar, umidade e calor. Algumas variações nos resultados podem ser esperadas quando as condições de operação são variadas. Recomenda-se que um material semelhante do estudado seja exposto simultaneamente com as amostras para fornecer um padrão para fins de comparação. Recomenda-se também, que sejam realizadas pelo menos, três repetições de cada material avaliado em cada teste, para permitir a avaliação dos resultados.

É possível verificar, através da Tabela 1, as condições a que foram submetidas as amostras dos compósitos de 10%FM, 20%FM, 30%FM e 100%PP.

Tabela 15 – Condições do ensaio de envelhecimento artificial acelerado

Aparelho	Atlas Weather-Ometer, modelo 65 XW-WR1
Fonte de radiação	Lâmpada de xenônio de 6.500 W, com filtros, interno e externo de borossilicato
Controle da Irradiância	Irradiância de 0,55 W/m ² a 340nm (controle com radiômetro)
Ciclo de envelhecimento acelerado a cada 120 minutos	102 minutos de insolação e 18 minutos de insolação e simulação de chuva
Norma do ensaio	ASTM G-155-05
Tempo final de envelhecimento acelerado	1.200 horas

Conforme mostra a Tabela 15, O aparelho Atlas Weather-Ometer, modelo 65 XW-WR1, utilizando lâmpada de xenônio com fonte de emissão da energia responsável pelo envelhecimento artificial acelerado das amostras estudadas, é eficiente na reprodução das condições do envelhecimento natural. As 1.200h de envelhecimento no equipamento (operando de acordo com a ASTM G155)

corresponde aproximadamente a 1 ano de envelhecimento natural, sem interferência de solicitações mecânicas, em local com 140kLy de insolação anual.

Na avaliação visual da aparência, em relação às Amostras não envelhecidas, não foram constatadas alterações significativas, no brilho e na cor, conforme pode ser visualizado nas Figuras 51 a 53.



Figura 51 – Vista parcial das amostras do compósito no equipamento de envelhecimento artificial.



Figura 52 – Vista parcial das amostras do compósito e de 100%PP, no equipamento de envelhecimento artificial.



Figura 53 – Detalhe dos corpos de prova no equipamento de envelhecimento artificial.

Não houve o aparecimento de trincas, bolhas, pegajosidade, fragilização ou qualquer outro tipo de defeito. Também não foi constatada a presença de micro-rachaduras e/ou fissuras, para a irradiação desta exposição de 1.200h.

Fabiyi *et al.* estudaram os efeitos do envelhecimento acelerado em compósitos de polietileno (PEAD) e polipropileno (PP) reforçados com farinha de madeira, e observaram que os compósitos embranqueceram com o tempo.

Araújo (2009) observou em sua pesquisa, que o compósito com 20% de fibra de madeira e PEAD+2%PEAM mostrou um embranquecimento após o ensaio de envelhecimento acelerado.

5 APLICAÇÃO DO WPC

A produção de objetos, a partir do compósito plástico-madeira produzidos neste estudo foi possível através do processo de injeção.

A injeção do produto ocorreu no Centro de Divulgação Científica e Cultural – CDCC da Universidade Paulista – USP de São Carlos. Foram utilizados os três traços do compósito produzido.

Para a produção dos objetos, foi utilizado 1Kg de cada traço do compósito. As composições foram pesadas antes de cada produção, conforme mostra a Figura 54. A produção do objeto se deu com o traço de 10%FM, passando para o traço de 20%FM e por fim, o traço de 30%FM.



Figura 54 – Pesagem do compósito antes da produção do objeto.

Após a pesagem, o material seguia para o funil de alimentação da injetora para início do processamento. Conforme os objetos eram expelidos após a moldagem, eram alocados em uma caixa para resfriamento e verificação de defeitos na fabricação.

A injetora utilizada na produção do objeto de marca ROMI Primax, modelo 100R (Figura 55), com as quatro zonas de aquecimento configuradas com a mesma condição da produção dos corpos de prova. A temperatura ficou na média de 200°C. O molde utilizado na injeção do objeto foi o Tangram, que é um quebra-cabeça

chinês formado por 7 peças e com a possibilidade de formar várias figuras, utilizando todas elas.



Figura 55 – Vista parcial da injetora utilizada na produção do Tangram.

Houve problemas na injeção, pois o compósito não foi seco em estufa antes do processamento. A injetora teve que ser ajustada para trabalhar com a injeção mais rápida e com mais pressão. Com isso, o material era expelido através do bico da injetora conforme mostra a Figura 56.

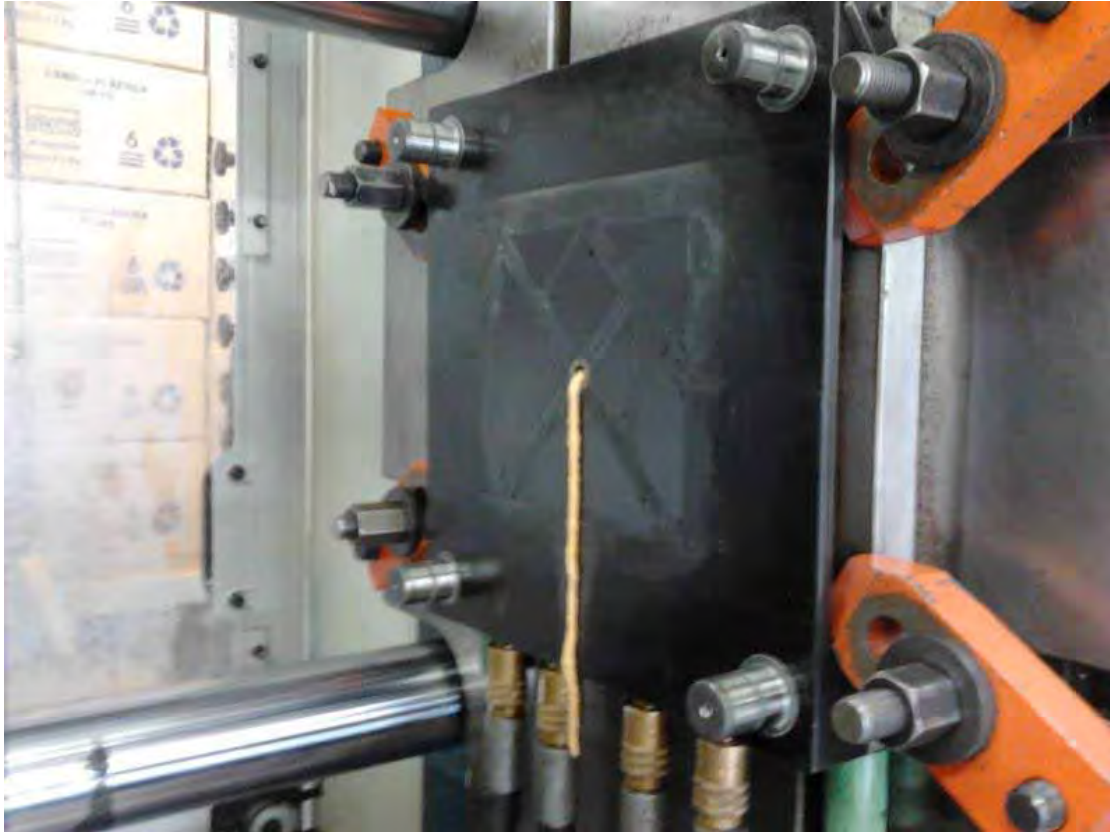


Figura 56 – Vista do material sendo expelido pelo bico injetor.

O material expelido no bico da injetora (Figura 56) pode significar um aumento no custo da produção, mesmo que o material seja reciclável (YAMAJI, 2004), o acúmulo de água requer custo de secagem prévia em estufa e retrabalho na injeção do compósito. Existem algumas injetoras que possuem uma estufa acoplada, não sendo necessária a secagem prévia, pois o material é seco durante a passagem pelo funil de alimentação da máquina, que para este compósito, seria a ideal.

A composição com 30% de FM foi a que mais continha água, sendo o seu processo de injeção o mais trabalhoso, além das peças não saírem conforme o ideal, pois continham rebarbas ocasionadas pelo excesso de material no bico injetor, conforme mostra a Figura 57.



Figura 57 – Vista do produto com rebarbas provenientes de problemas na injeção.

Alguns produtos feitos com o compósito de 30%FM também apresentaram deformações superficiais provenientes do acúmulo de água. As deformações se deram logo que o produto saiu da injetora e teve contato com o ar, visualizado na Figura 57 e 58. Alguns produtos apresentaram bom acabamento superficial e nenhuma deformação, mas em sua minoria.



Figura 58 – Vista das deformações superficiais do produto com o compósito de 30%FM.

A Tabela 16 mostra a quantidade de objetos produzidos para cada traço do compósito.

Tabela 16 – Quantidade de objetos produzidos para cada Kg de compósito.

Traço	Quantidade de compósito	Quantidade de produtos finais
10%FM+90%PP	1Kg	21
20%FM+80%PP	1Kg	19
30%FM+70%PP	1Kg	17

Pode ser observado, através da Tabela 16 que, quanto maior o percentual de farinha de madeira na composição, menos produtos finais foram produzidos, consequência das dificuldades encontradas para ajuste de parâmetros da injetora e da umidade do material.

A dificuldade no ajuste em alguns parâmetros da injetora, e o acúmulo de água no compósito resultaram em objetos com superfície deformada e formação de bordas causadas pelo excesso de material.

O compósito que resultou em objetos com bom acabamento superficial foi o de 20%FM. Os objetos, para este material, também não apresentaram deformações.

Pode ser constatado que, a produção de objetos a partir de compósitos plástico-madeira, pode ser realizada em uma injetora. Entretanto, é necessário que o material esteja livre de umidade e que o equipamento seja ajustado de acordo com o índice de fluidez do material. Esta etapa da aplicação do wpc na produção de um objeto mostrou que os compósitos plástico-madeira podem ser utilizados para a fabricação de produtos através do processo de injeção.

A Figura 59 apresenta o resultado final da pesquisa, com um Kit (com nome fantasia) montado com um bloquinho de anotações de capa feita com o compósito e uma caixa contendo os três traços dos compósitos elaborados com a farinha de madeira.



Figura 59 – Kit contendo produtos feitos com o compósito.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou a possibilidade da produção de compósitos plástico-madeira sem adição de compatibilizantes e outros aditivos. Utilizando-se de materiais reciclados, como o polímero e resíduos de madeira que seriam descartados pela maioria das indústrias madeireiras, por ser um resíduo de granulometria fina. Tais resíduos madeireiros poderiam estar sendo lançados na natureza ou queimados a céu aberto, contribuindo para o aumento da poluição. Em comparação com outras pesquisas, verifica-se que o uso de aditivos pode melhorar algumas propriedades, mas é preciso um estudo para verificar a viabilidade econômica do uso deste material já que a intenção é o uso de materiais reciclados.

De acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que a metodologia empregada permitiu atender aos objetivos preestabelecidos, ou seja:

- a farinha de madeira pode ser empregada na produção do compósito plástico-madeira;
- o polipropileno reciclado resultou em compósitos com propriedades semelhantes à de compósitos com plástico virgem;
- a extrusora necessita de ajustes, principalmente quanto ao compósito de 30%FM, pois a madeira dificulta o processo de injeção;
- a umidade da madeira tem grande importância no processo de produção do compósito, sendo necessário mais tempo para secagem prévia;
- para trabalhar com a farinha de madeira, com baixa densidade aparente, é necessário um sistema para empurrar o material dentro do funil de alimentação da extrusora para garantir a homogeneidade da mistura;
- nos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura nota-se a diferença entre as formulações 2, 3 e 4, e fica evidente que quanto maior o teor de farinha de madeira, maior é a absorção de água e o inchamento em espessura;

- a Tabela 17 apresenta o resumo dos resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.

Tabela 17 – Resumo dos dados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos.

Ensaio	Traços				
	T1	T2	T3	T4	Especificações
Aa	0,24	0,49	1,01	1,02	Yamaji (2004) (0,3-1,1%)
le	1,10	1,47	2,22	2,95	Yamaji (2004) (0,2-0,8%)
σ_Y	22,12	21,64	20,97	20,13	ASTM D-638-10 (PP puro 31.0-37.2 MPa)
ϵ_E	9,07	6,05	3,94	2,62	ASTM D-638-10 (PP puro 13%)
E	1,00	1,39	1,79	2,17	ASTM D-638-10 (PP puro 1.14-1.55 GPa)
σ_T	18,80	20,28	20,59	20,06	ASTM D-638-10 (PP puro: 3,63Mpa)
ϵ_U	367,01	9,90	4,59	2,76	ASTM D-638-10 (PP puro: 8,79%)
I_s	41,06	33,94	34,94	75,55	ASTM D-256-00 (PP puro: 2,66J/m)
MFI	30,00	21,80	16,50	10,00	ASTM D-1238-10 (PP puro: 2.23-32.8 g/10min)

Legenda:

	Próximos aos valores normalizados
	Acima dos valores normalizados
	Abaixo dos valores normalizados
	Dentro dos valores normalizados

Onde:

Aa: absorção de água (%);

le: inchamento em espessura (%);

σ_Y : tensão no escoamento (Mpa);
 ϵ_E : deformação no escoamento (%);
 E : módulo de elasticidade (Gpa);
 σ_T : tensão na ruptura (Mpa);
 ϵ_U : deformação na ruptura (%);
 I_s : Resistência ao impacto (J/m);
MFI: índice de fluidez (g/10min).

- verifica-se através da Tabela 17, que o compósito mostrou boa propriedade física, podendo ser aplicado em alguns produtos como jogos educativos, caixas de embalagens, vasos de flores, pisos, batentes de portas e janelas, régua escolares, entre outros;

- o compósito apresentou bons resultados em índice de fluidez, comprovando assim a possibilidade de utilização de injetora para a produção de produtos;

Segundo Mondardo (2006), diversos estudos demonstraram que as fibras curtas melhoram a rigidez do produto final, porém prejudicam os resultados de resistência ao impacto. Fibras mais longas melhoram a resistência ao impacto, contudo, apresentam dificuldades de dispersão do polímero. Tal observação também foi verificada neste estudo, confirmando que os compósitos produzidos com fibras curtas, ou farinha de madeira, melhoram a rigidez, porém, diminuem a resistência ao impacto.

O melhor traço obtido foi o de 30%FM+70%PP, que mostrou a possibilidade de produção do compósito com este percentual de farinha de madeira sem o uso de compatibilizante, uma vez que as fibras da madeira se aderiram bem ao polímero polipropileno. A resistência ao impacto foi de 34,94J/m, um resultado com a mesma ordem de grandeza com o de 36,3J/m obtido por Correa *et al.* (2003) visto que fez uso de compatibilizantes. Este traço também mostrou ser mais homogêneo, com médias do desvio padrão bem inferior do que os outros traços.

Finalmente, o estudo demonstrou a possibilidade de produção do compósito plástico-madeira a partir de materiais reciclados. Entretanto, face às limitações

observadas, é importante que novos estudos sejam conduzidos, sendo recomendado:

- secagem do material por mais tempo e antes de ser extrusado, para que não haja problemas de umidade no momento da injeção;
- usar um polímero na forma de pó, para que a mistura fique mais homogênea;
- adicionar percentuais de outros polímeros que sejam compatíveis com o polipropileno, e que tenham outras propriedades a fim de melhorar as características mecânicas do compósito, como resistência à tração e flexão;
- utilizar corantes na produção do compósito para verificar se há alguma interferência em suas propriedades;
- testar outros percentuais de farinha de madeira, superior a 30%, visto que estas composições não apresentaram problemas na extrusão e injeção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, C. ICHAZO, M. GONZALES, J. DELGADO, M. POLEO, R. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP+wood flour and PP+sisal fiber. **Material Research Innovation**, v.4, p. 284-293, abril 2001. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs100190000108?LI=true>>. Acesso em outubro de 2012.

ALFARO, E. F. **Estudos da utilização de cinza de casca de arroz como carga em matriz de polipropileno e do efeito da radiação ionizante sobre este compósito**. Dissertação – Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo – USP, 2010.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D-570-98**: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, 1998.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D-638-10**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2010.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D-256-00**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, 2000.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D-1238-10**: Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer, 2010.

American Society for Testing and Materials. **ASTM G-155-05**: Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas **NBR10004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BALMA, D. A. Evaluation of bolted connections in wood plastic composites. Dissertação - Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, Washington, 1999.

BARBERO, E. J. **Introduction to Composite Materials Design**. Taylor and Francis, Philadelphia, PA, 1st edition, 1999.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BCC Research. **Wood-Plastic Composites: Technologies and Global Markets**. Publicado em junho de 2011. Disponível em:< <http://www.bccresearch.com/report/wood-plastic-composites-tech-markets-pls034b.html>>. Acesso em julho de 2012.

BRASKEM. **Glossário de Termos Aplicados a Polímeros**. Boletim Técnico Nº. 08 PVC. Camaçari, 2002. Disponível em: <www.braskem.com.br. > Acesso setembro de 2009.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei n 12305 de 02 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em novembro de 2012.

BRINGHENTI, J. **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos**: aspectos operacionais e da população. Tese – Departamento de Saúde Ambiental da faculdade de Saúde Pública, universidade de São Paulo-USP. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-07122009-091508/pt-br.php>> . Acesso em novembro de 2012.

CARASCHI, J. C. LEÃO, A. L. Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos. Revista Acta Scientiarum, v.24, n. 6, p. 1599-1602. Maringá, 2002. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/2462>>. Acesso em fevereiro de 2011.

CARVALHO, L. H. **Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras Vegetais**. UFCG. 2003. Disponível em: <www.abpol.com.br/apostilacomposito. > Acesso em setembro de 2009.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Fichas técnicas – Plástico**. São Paulo, 2012. Disponível em: www.cempre.com.br. Acesso em novembro de 2012.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos Sólidos Domiciliares**, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publica%C3%A7%C3%B5es-e-relat%C3%B3rios/1-publica%C3%A7%C3%B5es/-relat%C3%B3rios>>. Acesso em julho de 2012.

CLEMONS, Craig. Interfacing Wood-plastic composites industries in the U.S.. **Forest Products Journal**, 2002. Disponível em: <www.jobwerx.com/news/Archives/iwpc.html> Acesso em julho 2009.

CORRADINI, E. AGNELLI, J.A.M. MORAIS, L.C. MATTOSO, L.H.C. Estudo das Propriedades de Compósitos Biodegradáveis de Amido/Glúten de Milho/Glicerol Reforçados com Fibras de Sisal. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 4, p. 353-358, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v18n4/16.pdf>>. Acesso em setembro de 2012.

CORREA, C. A. FONSECA, C. N. P. NEVES, S. RAZZINO, C. A. HAGE, E. Compósitos termoplásticos com madeira. **Polímeros – Ciência e Tecnologia**, v.8, n.3, p.154-165, 2003.

DEDAVID, B. A. GOMES, C. I. MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura** : aplicações e preparação de amostras : materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre : EDIPUCRS, 2007.

DIAS, R. **Gestão Ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. São Paulo: Atlas, 2009.

ECKERT, C. Opportunities for natural fibers in plastic composites. 2000, *apud* JEONG, G. Y. **Fracture behavior of wood plastic composite (WPC)**. Tese – Graduate School of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Chonnam National University, 2004.

EMBRAPA. **Sistemas de Produção**, ISSN 1678-8281, versão eletrônica Nov./2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_1_pinus_elliotti.htm>. Acesso em outubro de 2012.

FORESTRY COMMISSION. **Wood Plastic Composites**. Techinal Report, Walford, UK: Building Research Establishment Ltd., 2004. Disponível em: <[http://www.forestry.gov.uk/pdf/crwoodproducts13.pdf/\\$FILE/crwoodproducts13.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/crwoodproducts13.pdf/$FILE/crwoodproducts13.pdf)>. Acesso em junho de 2012.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES FILHO, João. **Design do objeto** – bases conceituais. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: M. T. T. Gonçalves, 2002.

HILLIG, E. IWAKIRI, S. ANDRADE, M.Z. Zattera, A. J. Caracterização de comósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira. **Revista Árvore**, v. 32, n.2, p. 299-310, Viçosa, 2008.

HILLIG, D. M. HILLIG, E. BIANCHI, O. ZENI, M. IWAKIRI, S. **Caracterização de compósitos de HDPE e serragem de Pinus SP., confeccionados com dois tipos de extrusoras**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Disponível em: <www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-202-034.pdf>. Acesso em outubro de 2012.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2012. **Notícias Ambientais**, IBAMA, Brasil, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IMAZON – Instituto do Homem e Meio ambiente da Amazônia. **Transparência Florestal**. Boletim Técnico. Belém: Imazon, 2012. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/transparencia-florestal/transparencia-florestal-amazonia-legal/boletim-do-desmatamento-sad-julho-de-2012>>. Acesso em agosto de 2012.

JACOB, P. R. BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, n. 25, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10.pdf>>. Acesso em novembro de 2012.

JEONG, G. Y. **Fracture behavior of wood plastic composite (WPC)**. Tese – Graduate School of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Chonnam National University, 2004.

KALPAKJIAN, S. SCHMID, S. R. **Manufactura, ingenieria y tecnologia**. Pearson Educación, México, 2002. Disponível em: http://books.google.com.br/books?id=gilYI9_KKAoC&pg=PA190&dq=aditivos+em+pl%C3%A1sticos&hl=pt-BR&sa=X&ei=VAcTUY_NLKqQHf34CoCg&ved=0CEUQ6AEwAg#v=onepage&q=aditivos%20em%20pl%C3%A1sticos&f=false. Acesso em dezembro de 2012.

- MACHADO, M. L. C. PEREIRA, N. C. MIRANDA, L. F. TERENCE, M. C. PRADELA, J. G. C. Estudo das Propriedades Mecânicas e Térmicas do Polímero Poli-3-Hidroxitirato (PHB) e de Compósitos PHB/Pó de Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 20, nº 1, p. 65-71, 2010.
- MAGLIO, G. PALUMBO, R. **The role of interfacial agents in polymer blends**. Polymer Blends, Processing, Morphology and Properties. New York, Plenum Press, v.2, 1984.
- MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos** – rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes. São Paulo: Artliber, 2005.
- MANZINI, E. VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis** – os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2008.
- MARCZAK, R. J. **Polímeros como materiais de engenharia**. Porto Alegre. UFRGS, 2004.
- MARINELLI, A. L. MONTEIRO, M. R. AMBRÓSIO, J. D. BRANCIFORTI, M. C. KOBAYASHI, M. NOBRE, A. D. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.
- MATTHEWS, F. L. DAVIES, G. A. O. HITCHINGS, D. SOUTIS, C. **Finite element modeling of composite materials and structures**. Woodhead Publishing Ltd., 2009.
- MENDONÇA, P. T. R. **Materiais compostos e estruturas sanduíche**. Barueri: Manole, 2005.
- MONDARDO, F. H. **Compósitos de polipropileno e farinha de madeira**. Dissertação – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001.
- NENNEWITZ, I. NUTSCH, W. PESCHEL, P. SEIFERT, G. **Manual de tecnologia da Madeira**. Tradução 4 ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- OMS – Organização Pan-Americana da Saúde. **Políticas Integradas em Rede e a Construção de Espaços Saudáveis**: boas práticas para a Iniciativa do Rostos, Vozes e Lugares. Brasília, 2010. Disponível em: <www.paho.org/bra>. Acesso em fevereiro de 2012.
- OPTIMAT LTD e MERL LTA. **Wood plastic composite study** – technologies and UK market opportunities. The waste and resources action programme, Oxon, 2003. Disponível em: <<http://www.ngcc.org.uk/LinkClick.aspx?fileticket=fbSI6217rKs%3D&tabid=95&mid=478>>. Acesso em outubro de 2012.

- ORTIGOZA, S. A. G. CORTEZ, A. T. C. **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.
- PADILHA, A. F. **Materiais de engenharia: Microestrutura e Propriedades**. São Paulo: Editora Hemus, 1997.
- PAPANEEK, V. **Arquitetura e Design: Ecologia e Ética**. Lisboa: Edições 70, 1998.
- PEREIRA, A. S. LIMA, J. C. F. RUTKOWSKI, E.W. **Ecologia industrial no Brasil: uma discussão sobre as abordagens brasileiras de simbiose industrial**. IX ENGEMA- Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio ambiente. Curitiba, 19 a 21 de novembro de 2007. Disponível em: <pgamb.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0017.pdf> Acesso em abril de 2010.
- PEREIRA, A. S. LIMA, J. C. F. RUTKOWSKI, E.W. **Ecologia Industrial, produção e ambiente: uma discussão sobre as abordagens de inter-conectividade produtiva**. First International Workshop Advanced in Cleaner Production. São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.e-science.unicamp.br/fluxus/admin/publicações/documentos/publicacao_584_Ecologia%20Industrial-R3.pdf> Acesso em dezembro de 2010.
- PFEIL, W. PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- RABELLO, M. **Aditivação de polímeros**. Artiliber Editora Ltda, São Carlos, 2000.
- REMADE – Revista da Madeira. **Cenário Florestal: florestas no mundo chegam 4 bilhões de hectares**. Edição n. 126, fevereiro de 2011. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1510&subject=Cen%20rio%20Florestal&title=Florestas%20no%20mundo%20chegam%204%20bilh%20es%20de%20hectares>. Acesso em maio de 2012.
- REMADE – Revista da Madeira. **Produção de compósitos de plástico com madeira**. Edição n.101, janeiro de 2007. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1021&subject=E%20mais&title=Produ%20E3o%20de%20comp%20F3sitos%20de%20pl%20E1stico%20com%20madeira>. Acesso em novembro de 2012.
- RIBEIRO, H.; BESEN, G.R. Panorama da coleta seletiva no Brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso. **InterfaceEHS**, v. 2, p. 1-6, 2007.
- SAVASTANO, H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. Tese de Livre Docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, USP: 2000.
- SILVA, E.L. MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos-2010**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2012.
- SPINACÉ, M. A. S, PAOLI, M. A. A Tecnologia da Reciclagem de polímeros. **Revista Química Nova**, Vol. 28, n. 1, 65-72, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041>> . Acesso em agosto de 2010.

- TEIXEIRA, Marcelo G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira.** Dissertação – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005. Disponível em: http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_marcelo_g_teixeira.pdf> Acesso em agosto de 2009.
- ULLOA, M. E. P. Estudo do efeito da radiação ionizante em compósitos de polipropileno/pó de madeira usando titanato de bário como agente de acoplagem. Dissertação – Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2007.
- UNFPA, United Nations Population Found. **State of world population 2011.** Disponível em: <http://foweb.unfpa.org/SWP2011/reports/EN-SWOP2011-FINAL.pdf>>. Acesso em abril de 2012.
- VALLE, C.E. **Qualidade ambiental: ISO 14000.** 5. ed. São Paulo, 2004.
- VESILIND, P. A. MORGAN, S. M. **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- WANG, Weihong. MORREL, J. J. **Water sorption characteristics of two wood-plastic composites.** Forest products journal vol. 54, nº12, 2003. Disponível em: <http://fcg.cof.orst.edu/structur/9736-209-212.pdf>> Acesso em maio de 2010.
- WEISZFLOG, W. **Michaelis moderno dicionário da língua portuguesa.** Melhoramentos, 1998.
- WIEBECK, H. HARADA, J. **Plásticos de engenharia: tecnologia e aplicações.** São Paulo: Artliber Editora, 2005.
- WINANDY, J.E. STARK, N.M. CLEMONS, C.M. **Considerations in recycling of wood-plastic composites.** 5 th Global Wood and Natural Fiber Composites Symposium April 27-28, 2004. Disponível em: http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2004/fpl_2004_winandy_001.pdf> Acesso em maio de 2010.
- YAMAJI, F. M. **Produção de compósito plástico-madeira a partir da indústria madeireira.** Tese – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- YOSHIGA, A. WIEBECK, H. TOFFOLI, S. M. Estudo do Composto PVC Reciclado/CaCO₃ em Pastas Vinílicas. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, nº 3, p. 134-141, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/po/v14n3/21554.pdf>>. Acesso em setembro de 2012.

ANEXOS

ANEXO 1 – Relação dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água e inchamento em espessura.

ANEXO 2 – Relação dos resultados do ensaio de tração.

ANEXO 3 – Relação dos resultados do ensaio de impacto.

ANEXO 4 – Relação dos resultados da micrografia de superfície.

ANEXO 5 – Relação dos resultados da microscopia eletrônica de varredura.

ANEXO 1

Relação dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água e inchamento em espessura.

Tabela 18 – Média dos valores obtidos pelo teste de absorção de água (em gramas).

Traço	Peso inicial	Varição de massa após estufa	Varição de massa-02h de imersão	Varição de massa-24h de imersão	Varição de massa-1semana de imersão	Varição de massa-2semanas de imersão
1	5,54869	5,54322	5,5520	5,54937	5,56574	5,56249
2	5,78178	5,77402	5,78035	5,78965	5,81536	5,81067
3	5,95543	5,93882	5,95348	5,96620	6,01107	6,02780
4	6,14985	6,12595	6,15385	6,20473	6,24204	6,31155

Tabela 19 – Média dos valores obtidos pelo teste de inchamento em espessura (em milímetros).

Traço	Espessura inicial	Varição de espessura após estufa	Varição de espessura 02h de imersão	Varição de espessura 24h de imersão	Varição de espessura 1semana de imersão	Varição de espessura 2semanas de imersão
1	3.088	3.126	3.131	3.097	3.107	3.122
2	3.122	3.215	3.152	3.163	3.161	3.168
3	3.144	3.160	3.179	3.189	3.206	3.214
4	3.151	3.155	3.177	3.194	3.217	3.244

ANEXO 2

Relação dos resultados do ensaio de tração.

Tabela 20 – Resultados do ensaio de tração para 100%PP.

Corpo de Prova	Tensão no Escoamento (MPa)	Deformação no Escoamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (%)
1	22,53	8,92	1,02	19,22	378,10
2	21,44	9,36	0,95	18,65	366,71
3	21,70	9,14	0,96	18,52	372,44
4	23,09	9,03	1,05	19,54	375,81
5	22,25	9,23	1,02	17,98	333,21
6	21,68	9,32	0,98	18,87	375,80
Média	22,12	9,17	1,00	18,80	367,01
Desvio Padrão	0,63	0,17	0,04	0,55	17,03

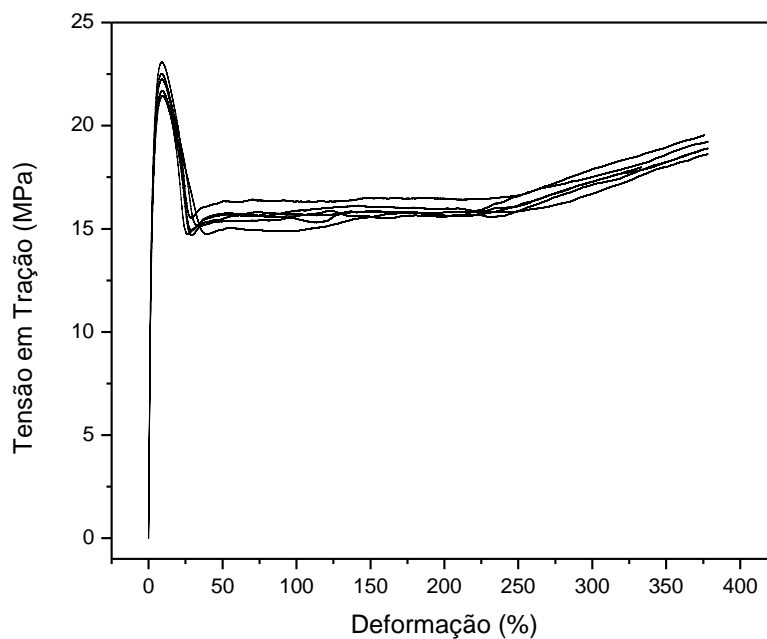


Figura 60 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 100%PP.

Tabela 21 – Resultados do ensaio de tração para 10%FM.

Corpo de Prova	Tensão no escoamento (MPa)	Deformação no escoamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (%)
1	21,96	6,33	1,41	20,80	10,18
2	21,40	6,12	1,37	19,28	11,96
3	21,58	5,96	1,39	21,13	7,83
4	21,66	5,97	1,42	19,55	10,75
5	21,67	5,93	1,40	20,21	9,70
6	21,56	5,86	1,38	20,41	8,33
7	21,83	6,25	1,38	20,30	10,41
8	21,73	6,05	1,40	20,07	10,75
9	21,50	6,08	1,37	20,03	10,91
10	21,52	5,99	1,30	20,98	8,13
Média	21,64	6,05	1,39	20,28	9,90
Desvio Padrão	0,17	0,15	0,02	0,59	1,37

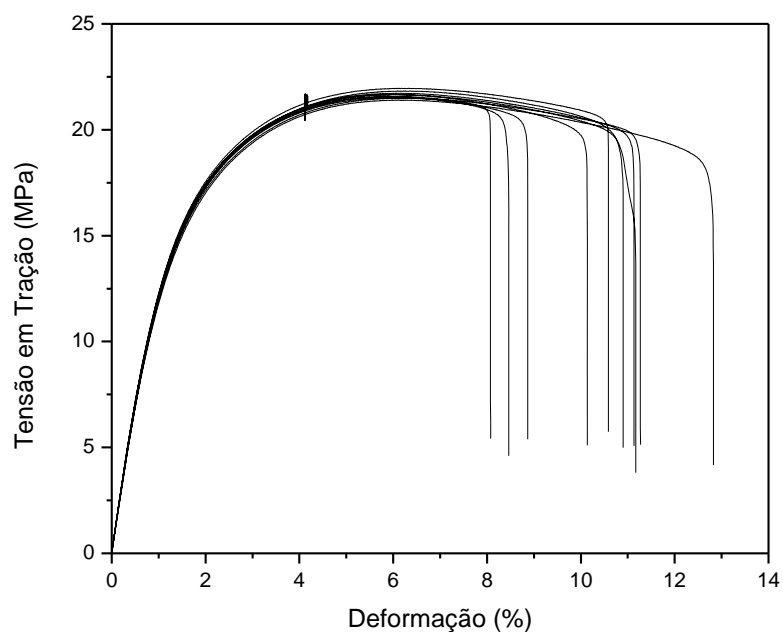


Figura 61 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 10%FM.

Tabela 22 – Resultados do ensaio de tração para 20%FM.

Corpo de Prova	Tensão no Escoamento (MPa)	Deformação no Escoamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (%)
1	21,33	4,00	1,73	21,25	4,58
2	21,39	3,75	1,87	20,83	4,72
3	21,13	3,60	1,84	20,93	4,02
4	21,05	3,84	1,82	20,26	5,04
5	20,98	3,72	1,83	20,42	4,70
6	20,82	3,94	1,75	20,38	4,62
7	20,65	3,96	1,74	20,15	4,99
8	20,82	3,75	1,80	20,57	4,28
9	20,79	3,91	1,77	20,55	4,45
10	20,75	3,89	1,75	20,58	4,44
Média	20,97	3,84	1,79	20,59	4,59
Desvio Padrão	0,25	0,13	0,05	0,33	0,31

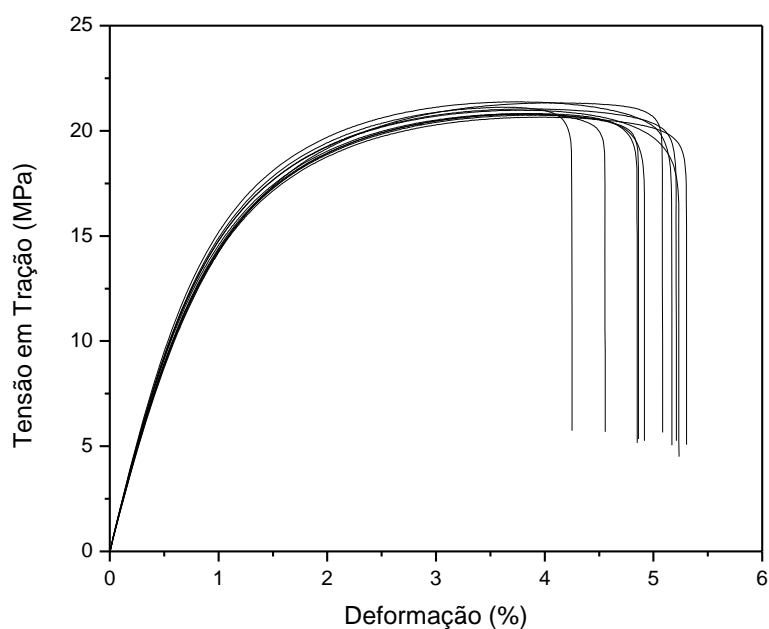


Figura 62 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 20%FM

Tabela 23 – Resultados do ensaio de tração para 30%FM.

Corpo de Prova	Tensão no Escoamento (MPa)	Deformação no Escoamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (%)
1	20,09	2,68	2,17	20,09	2,63
2	20,09	2,51	2,14	20,09	2,57
3	20,00	2,70	2,09	19,93	2,96
4	19,97	2,65	2,15	19,96	2,73
5	20,09	2,55	2,22	20,03	2,67
6	20,00	2,67	2,17	19,89	2,96
7	20,09	2,53	2,17	19,91	2,73
8	20,29	2,64	2,21	20,28	2,67
9	20,45	2,65	2,21	20,32	2,96
10	20,18	2,57	2,20	20,14	2,67
Média	20,13	2,62	2,17	20,06	2,76
Desvio Padrão	0,15	0,07	0,04	0,15	0,15

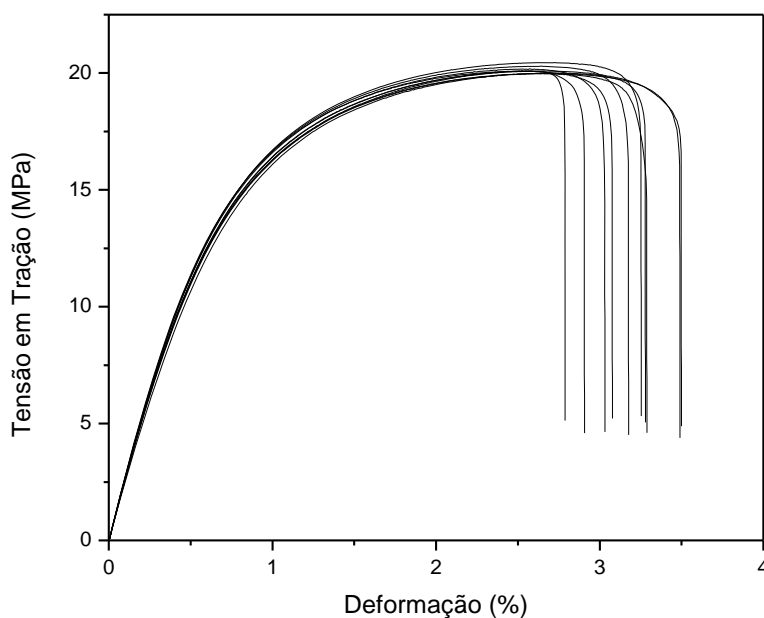


Figura 63 – Curva Tensão vs Deformação em tração – 30%FM.

ANEXO 3

Relação dos resultados do ensaio de impacto

Tabela 24 – Resultados do ensaio de impacto para 100%PP.

Material: 100%PP			
Corpos de prova	Impacto (J)	Energia do Pendulo (J)	Resultado (J)
1	0,280	0,016	0,264
2	0,231	0,016	0,215
3	0,253	0,016	0,237
4	0,291	0,016	0,275
5	0,280	0,016	0,264
6	0,236	0,016	0,220
7	0,302	0,016	0,286
8	0,275	0,016	0,259
9	0,236	0,016	0,220
10	0,269	0,016	0,253
Desvio padrão			0,025

Tabela 25 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 100%PP.

Resistência ao Impacto - Material: 100%PP		
	Média	Desvio Padrão
[J/m]	75,55	7,55
[J/m²]	7355,9	735,5
[kJ/m²]	7,36	0,74

Tabela 26 – Resultados do ensaio de impacto para 10%FM.

Material: 10%FM+90%PP			
Corpo de prova	Impacto (J)	Energia do Pendulo (J)	Resultado (J)
1	0,159	0,016	0,143
2	0,132	0,016	0,116
3	0,132	0,016	0,116
4	0,143	0,016	0,127
5	0,159	0,016	0,143
6	0,176	0,016	0,160
7	0,148	0,016	0,132
8	0,148	0,016	0,132
9	0,137	0,016	0,121
10	0,181	0,016	0,165
		Desvio padrão	0,017

Tabela 27 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 10%FM.

Resistência ao Impacto - Material: 10%FM+90%PP		
	Média	Desvio Padrão
[J/m]	41,06	5,20
[J/m ²]	3998,1	506,4
[kJ/m ²]	4,00	0,51

Tabela 28 – Resultados do ensaio de impacto para 20%FM.

Material: 20%FM+80%PP			
Corpo de prova	Impacto (J)	Energia do Pendulo (J)	Resultado (J)
1	0,126	0,016	0,110
2	0,126	0,016	0,110
3	0,132	0,016	0,116
4	0,126	0,016	0,110
5	0,132	0,016	0,116
6	0,121	0,016	0,105
7	0,121	0,016	0,105
8	0,121	0,016	0,105
9	0,132	0,016	0,116
10	0,143	0,016	0,127
Desvio padrão			0,007

Tabela 29 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 20%FM.

Resistência ao Impacto - Material: 20%FM+80%PP		
	Média	Desvio Padrão
[J/m]	33,94	2,10
[J/m ²]	3304,7	204,4
[kJ/m ²]	3,30	0,20

Tabela 30 – Resultados do ensaio de impacto para 30%FM.

Material: 30%FM+70%PP			
Corpo de prova	Impacto (J)	Energia do Pendulo (J)	Resultado (J)
1	0,132	0,016	0,116
2	0,132	0,016	0,116
3	0,132	0,016	0,116
4	0,132	0,016	0,116
5	0,132	0,016	0,116
6	0,137	0,016	0,121
7	0,126	0,016	0,110
8	0,132	0,016	0,116
9	0,137	0,016	0,121
10	0,121	0,016	0,105
Desvio padrão			0,005

Tabela 31 – Resultados do desvio padrão no ensaio de impacto para 30%FM.

Resistência ao Impacto - Material: 30%FM+70%PP		
	Média	Desvio Padrão
[J/m]	34,94	1,44
[J/m²]	3402,1	139,8
[kJ/m²]	3,40	0,14

ANEXO 4

Relação dos resultados da micrografia de superfície.

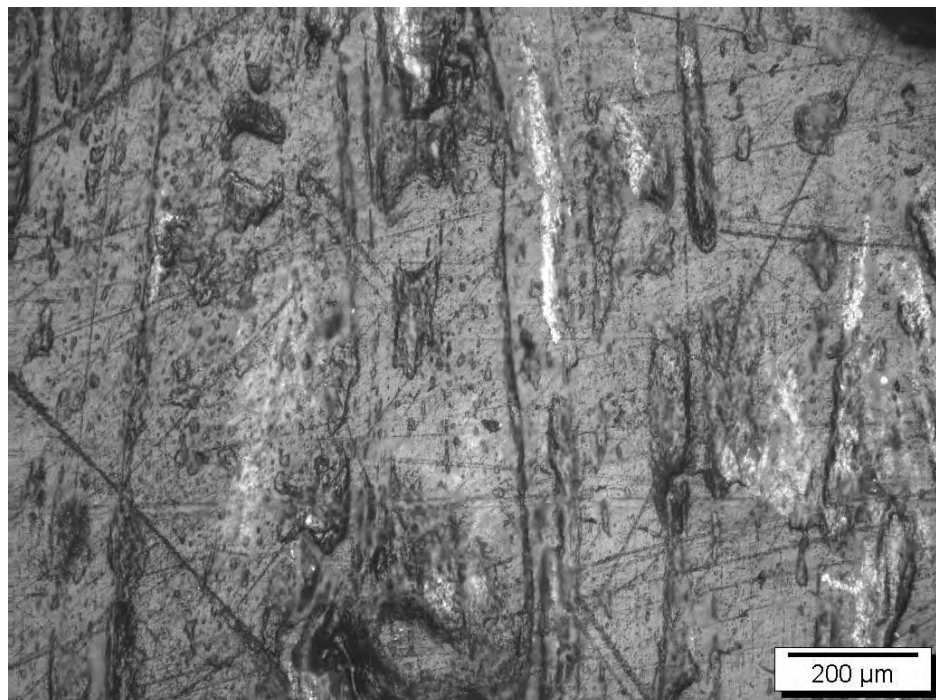


Figura 64 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 10%FM+90%PP.

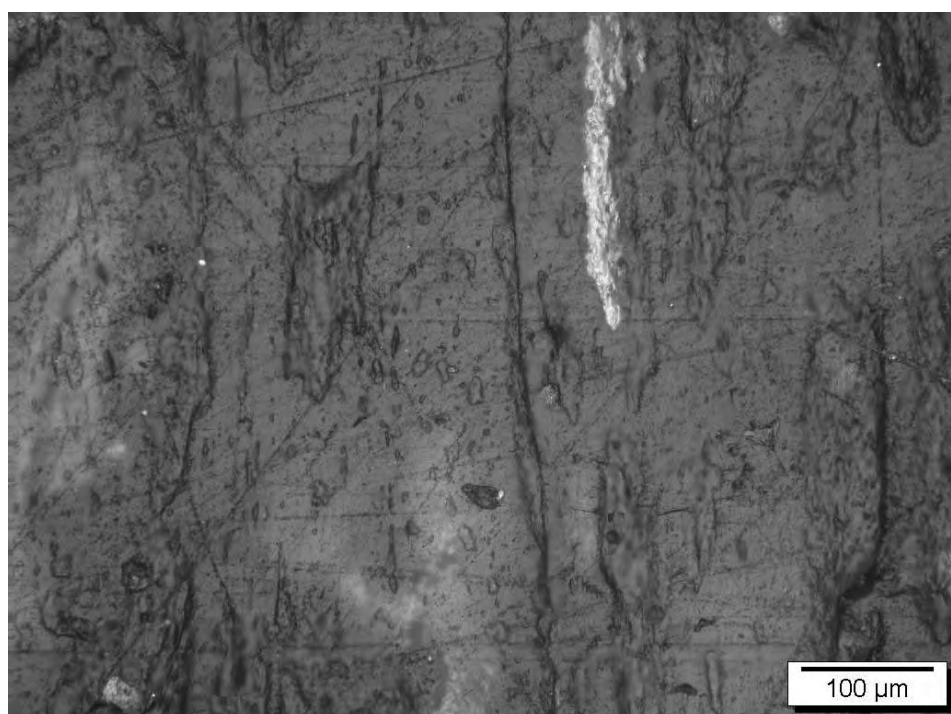


Figura 65 – Micrografia superficial em ampliação de 200x do corpo de prova de 10%FM+90%PP.

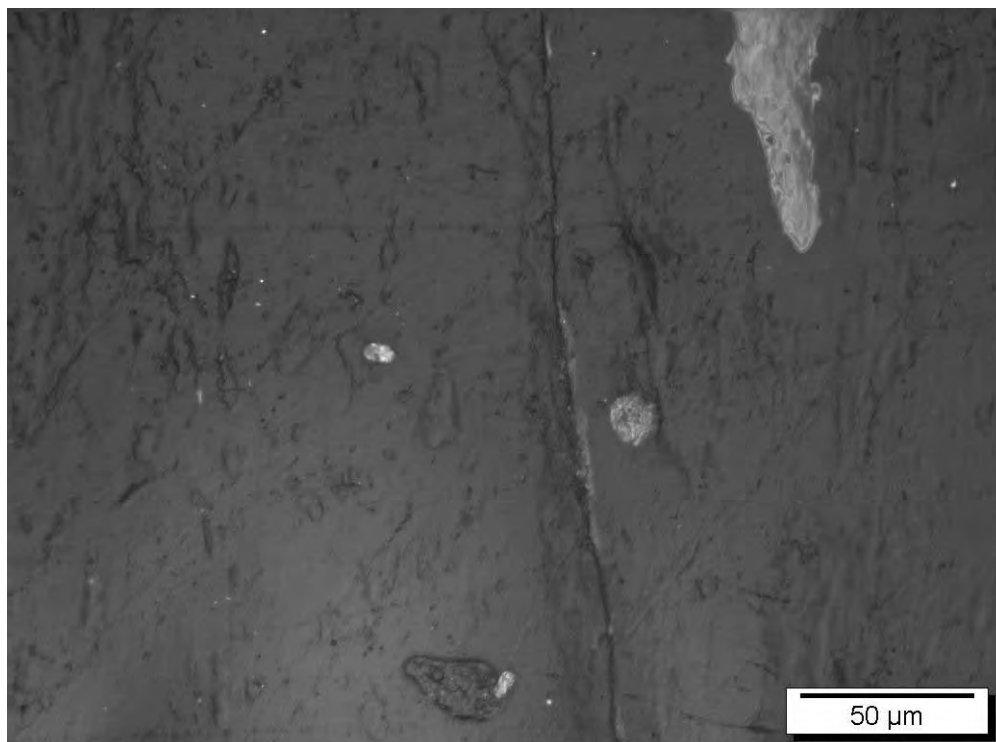


Figura 66 – Micrografia superficial em ampliação de 500x do corpo de prova de 10%FM+90%PP.

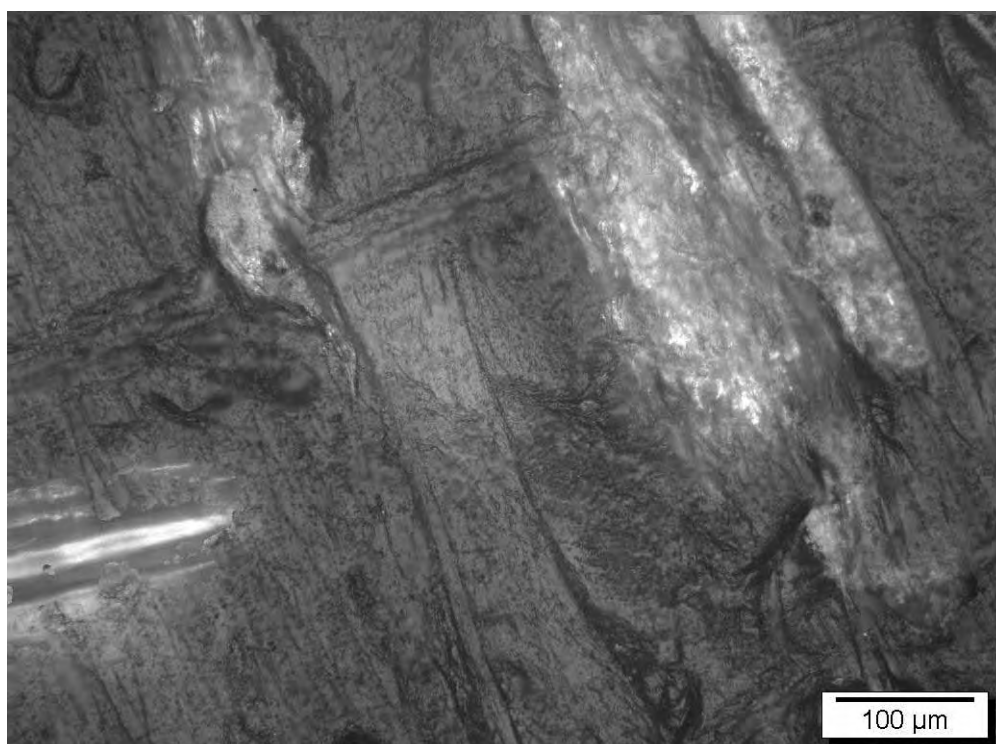


Figura 67 – Micrografia superficial em ampliação de 200x do corpo de prova de 20%FM+80%PP.

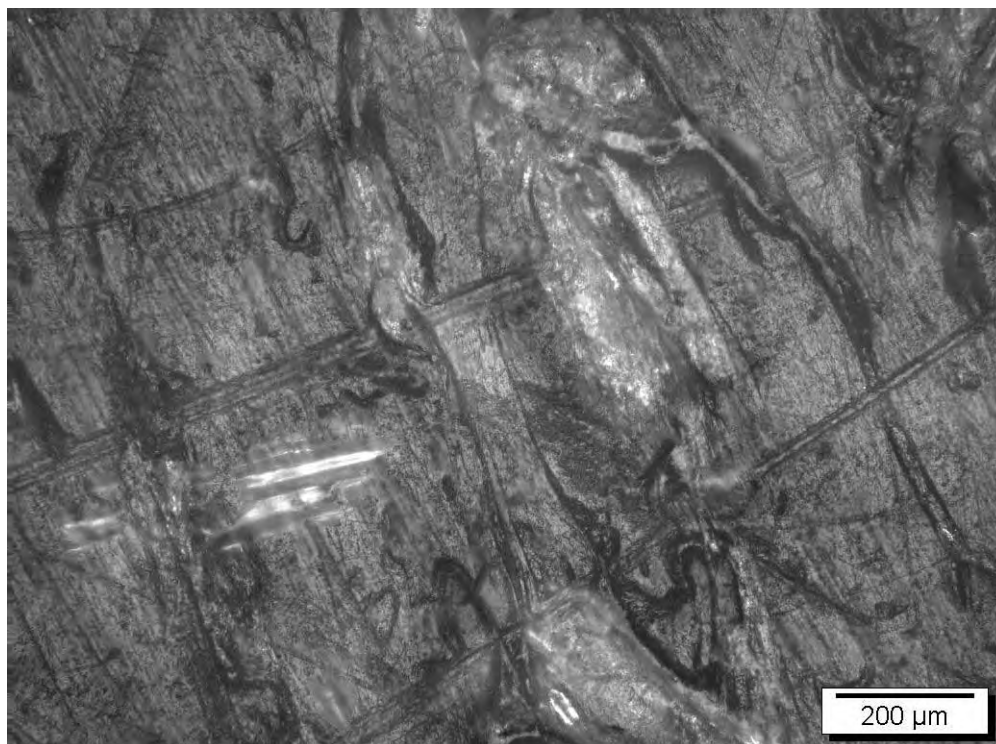


Figura 68 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 20%FM+80%PP.

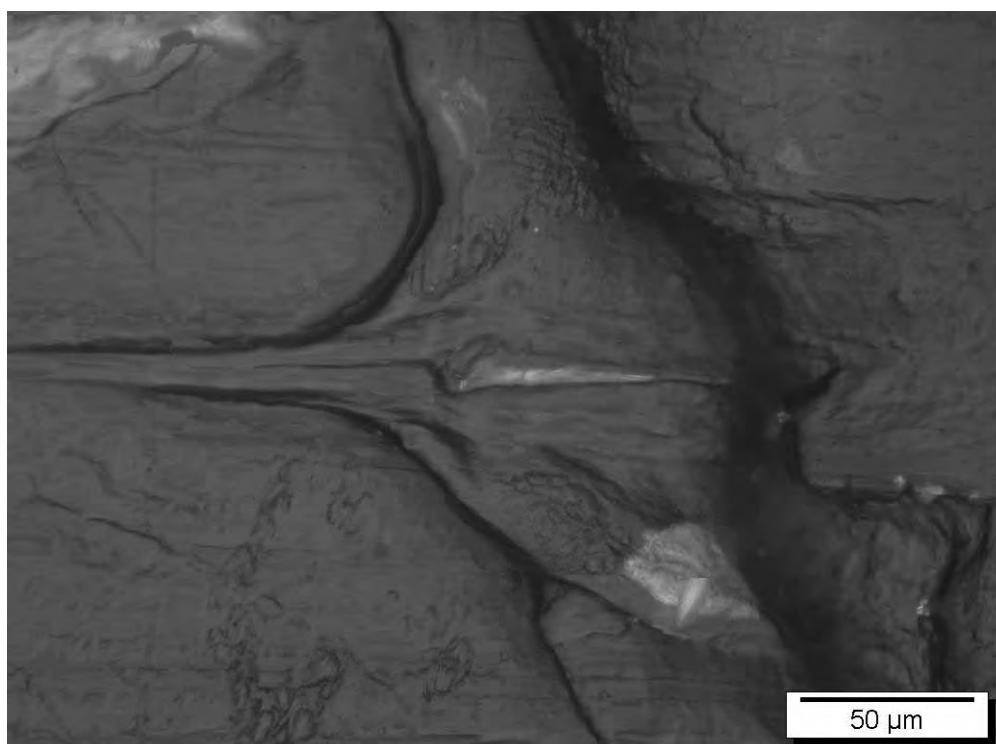


Figura 69 – Micrografia superficial em ampliação de 500x do corpo de prova de 20%FM+80%PP.

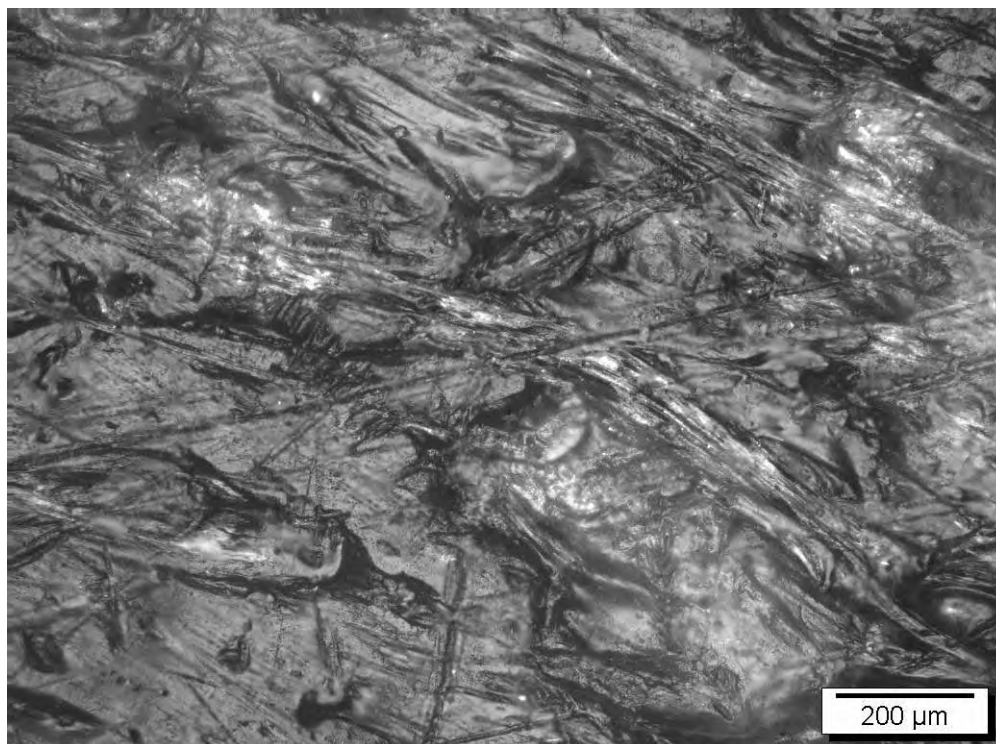


Figura 70 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 30%FM+70%PP.

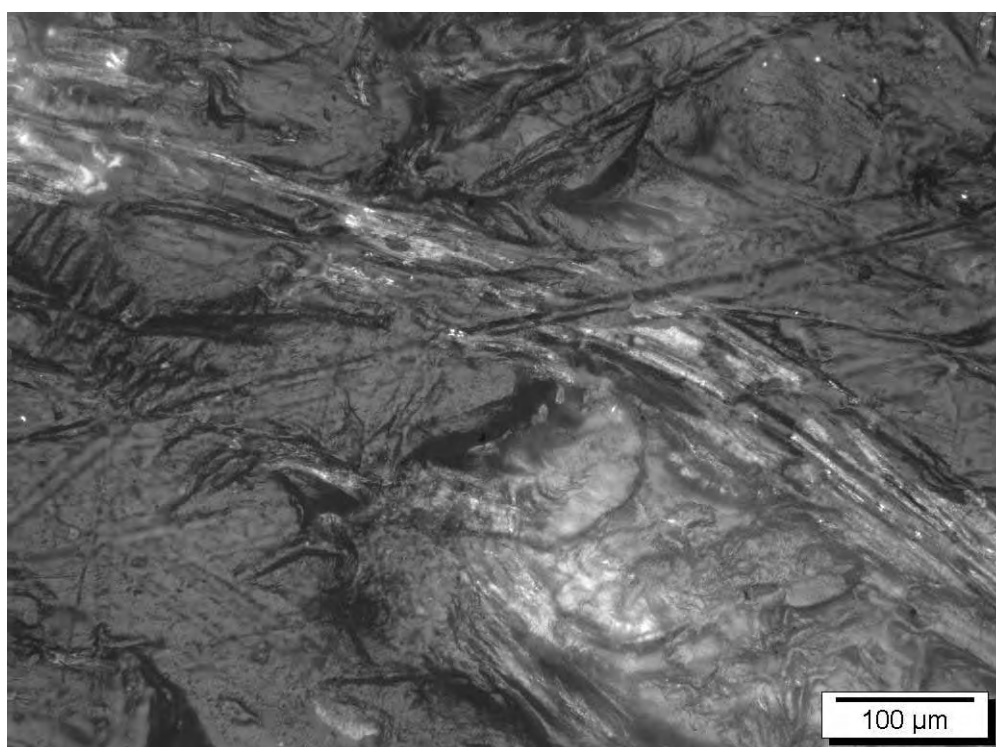


Figura 71 – Micrografia superficial em ampliação de 200x do corpo de prova de 30%FM+70%PP.

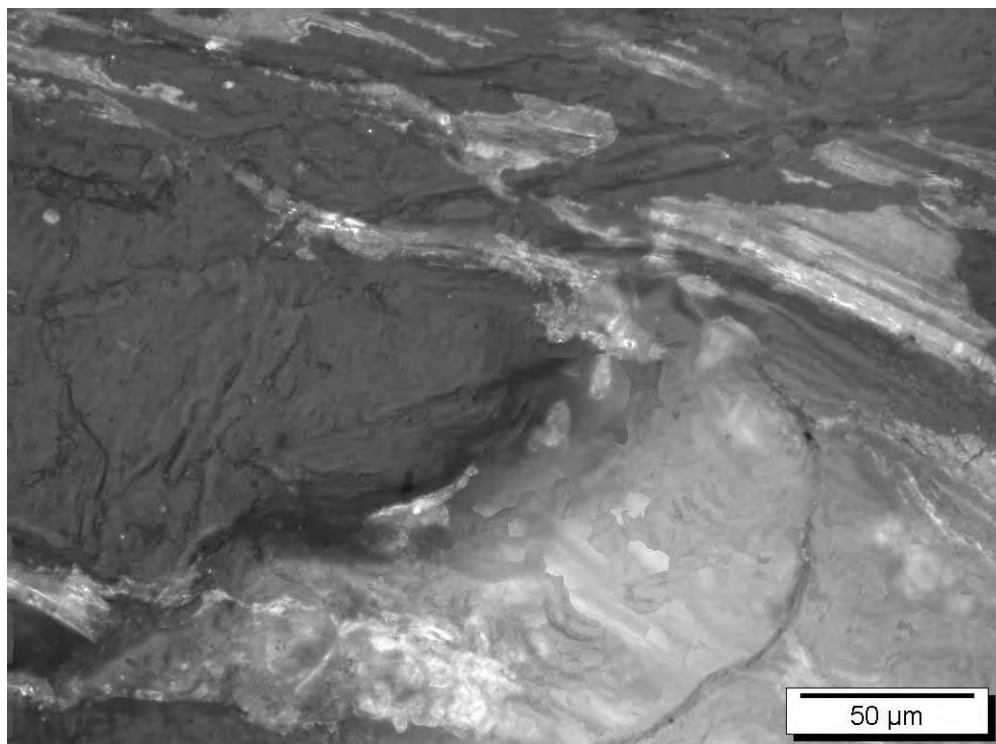


Figura 72 – Micrografia superficial em ampliação de 500x do corpo de prova de 30%FM+70%PP.

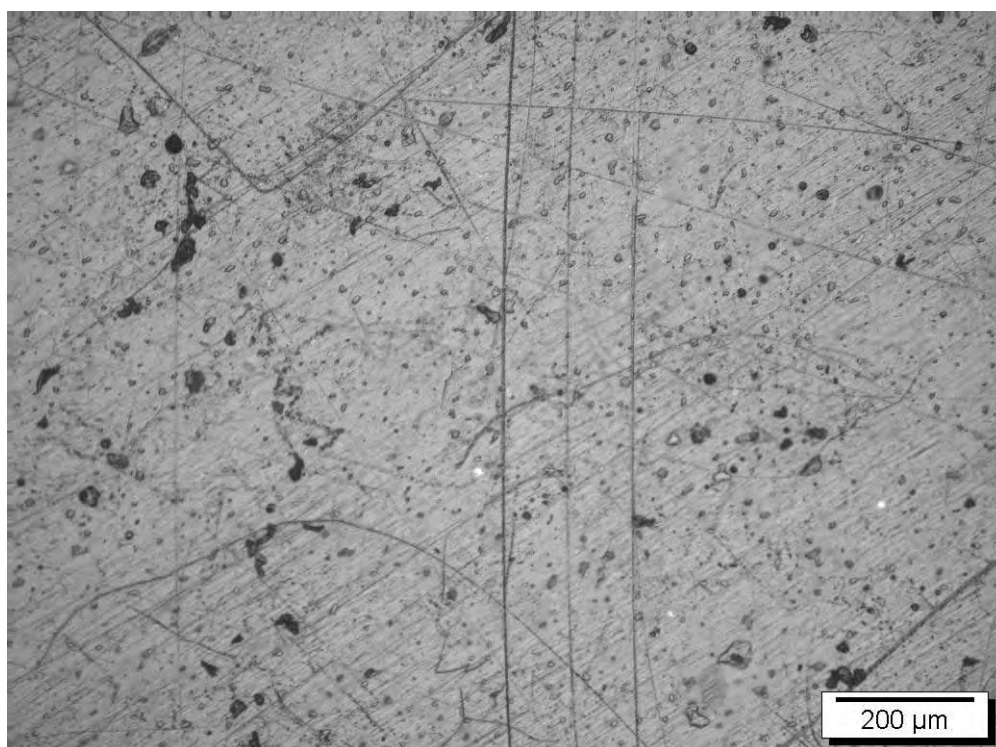


Figura 73 – Micrografia superficial em ampliação de 100x do corpo de prova de 100%PP.

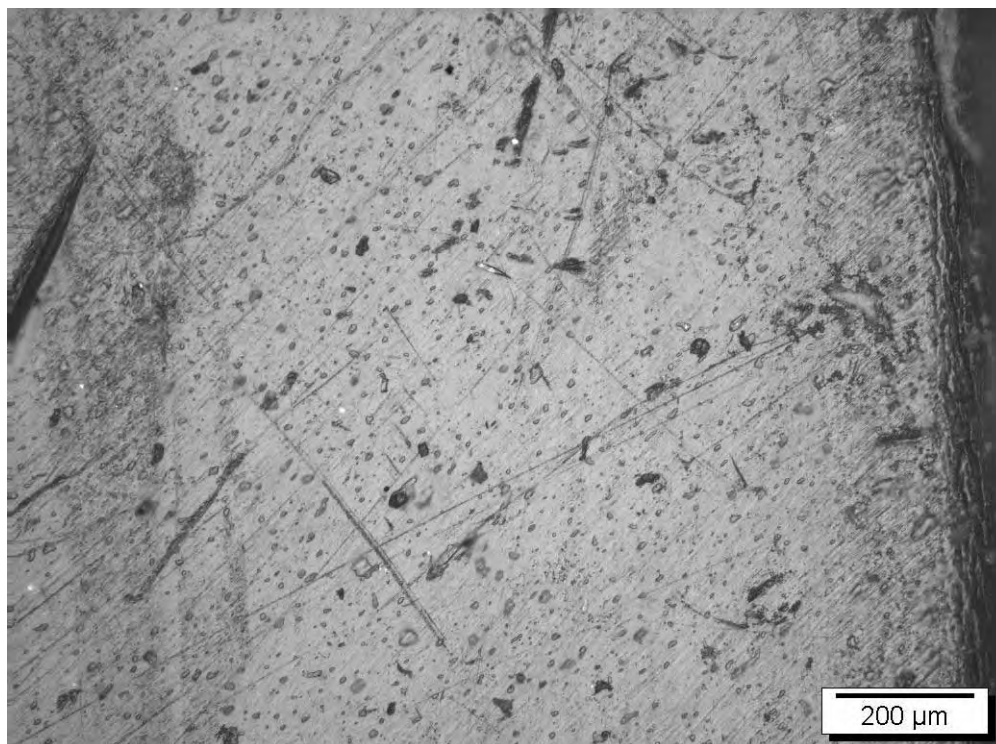


Figura 74 – Micrografia superficial em ampliação de 100x da borda do corpo de prova de 100%PP.

ANEXO 5

Relação dos resultados da microscopia eletrônica de varredura.

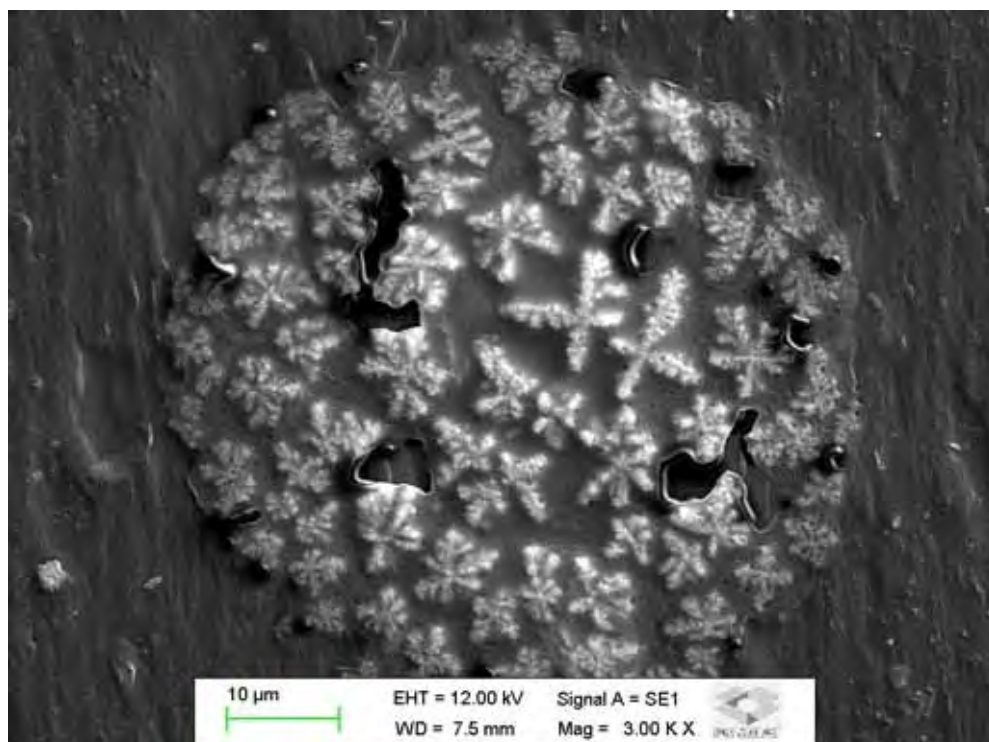


Figura 75 – MEV em ampliação de 3.000x do corpo de prova de 10%FM.

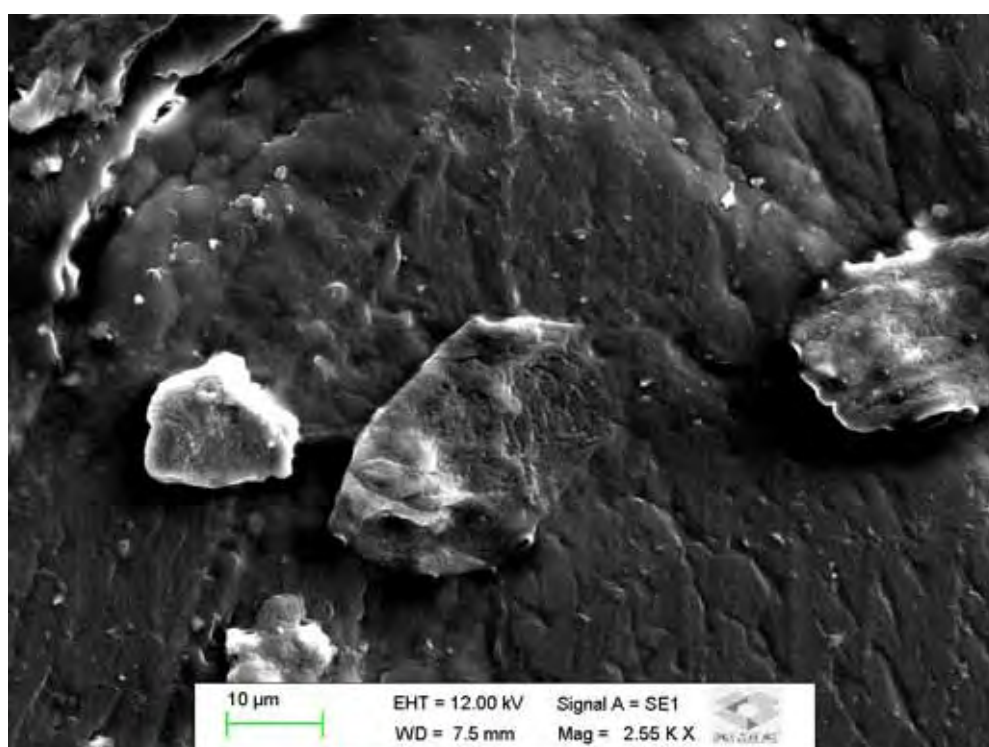


Figura 76 – MEV em ampliação de 2.550x do corpo de prova de 10%FM.



Figura 77 – MEV em ampliação de 3.000x do corpo de prova de 20%FM.

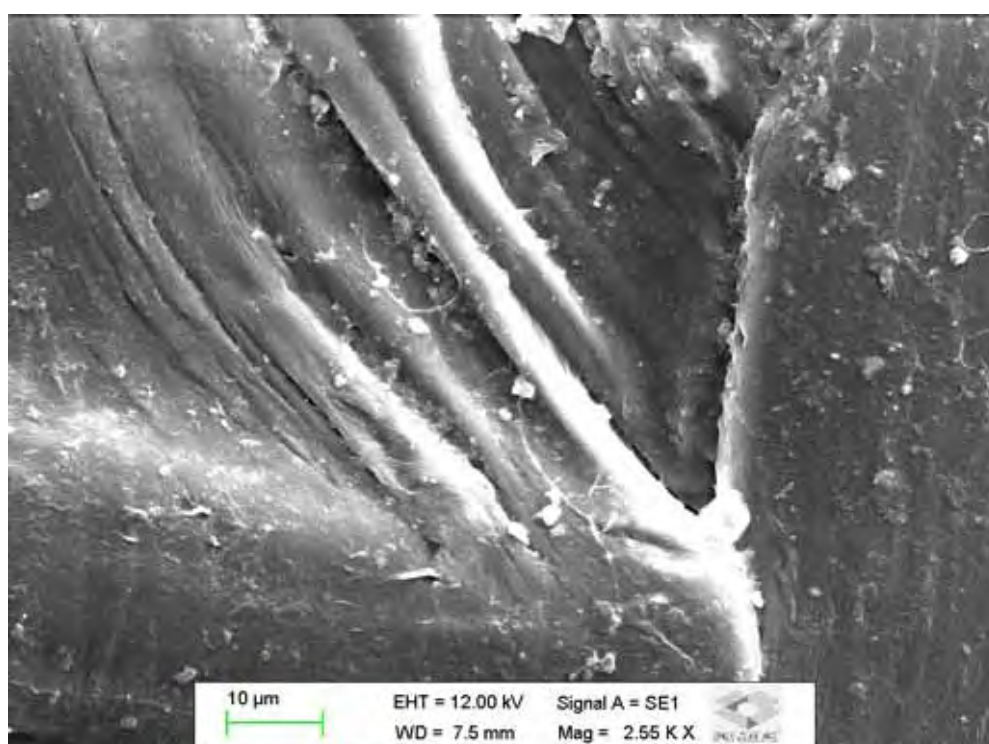


Figura 78 – MEV em ampliação de 3.000x do corpo de prova de 30%FM.