

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Hyhago Ramão Stuelp Rohr

Compósitos Madeira-Plástico (CMP)

Curitibanos

2019

Hyhago Ramão Stuelp Rohr

Compósitos Madeira-Plástico (CMP)

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal
Orientador: Profa. Dra. Karina Soares Modes

Curitibanos

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Stuelp Rohr, Hyhago Ramão
Compósito Madeira-Plástico (CMP) / Hyhago Ramão Stuelp
Rohr ; orientador, Karina Soares Modes, 2019.
32 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2019.

Inclui referências.

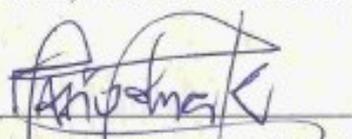
1. Engenharia Florestal. 2. Termoplásticos. 3.
Compósitos. 4. Madeira. I. Soares Modes, Karina. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Florestal. III. Título.

Hyhago Ramão Stuelp Rohr

Compósitos Madeira-Plástico (CMP)

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora

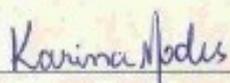
Curitiba, 14 de novembro de 2019.



Prof. Marcelo Callegari Scipioni, Dr.

Coordenador do Curso

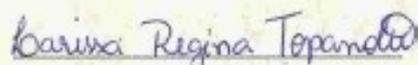
Banca Examinadora:



Profa. Karina Soares Modes, Dra.

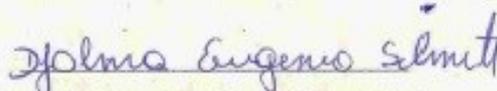
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Florestal Larissa Regina Topanotti

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Djalma Eugênio Schmitt, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A orientadora Profa. Dra. Karina Soares Modes, pela disponibilidade e auxílio durante esse trabalho.

A Banca Examinadora, Engenheira Florestal Larissa Regina Topanotti e Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt pela disponibilidade de avaliação deste trabalho.

Aos docentes do Campus Curitibanos da UFSC pela dedicação e conhecimentos adquiridos no decorrer da graduação, em especial aos professores, Dr. Alexandre Siminski, Dr. Magnos Alan Vivian, Dr. Marcelo Callegari Scipioni e Dr. Alexandre ten Caten.

A Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de cursar uma graduação em Engenharia Florestal.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão bibliográfica sobre os CMP, reunindo informações referentes a história, ao processo produtivo e as aplicações do produto. A geração de grandes volumes de resíduos plásticos nas atividades humanas em geral e resíduos florestais da indústria madeireira, tem se tornado motivo de grande preocupação da sociedade, com isso abrindo espaço para o desenvolvimento de novas alternativas de reutilização de materiais. Foi criado em 1971, na Itália o processo *Woodstock*® que deu início a produção de compósitos madeira-plástico (CMP) contendo Polipropileno – (PP) e 50% de farinha de madeira. Os CMP podem ser definidos como qualquer compósito que contenha madeira e resinas plásticas em sua composição. As principais aplicações deste material são na construção civil, indústria automobilística, aplicações estruturais, decks e molduras de portas e janelas. Os plásticos mais utilizados no processo são os termoplásticos que se fundem a temperatura abaixo de 200 °C como o polietileno de alta e baixa densidade, polipropileno, policloreto de vinila, politereftalato de etileno e o poliestireno. Para a produção dos CMP podem ser empregados diversos processos produtivos, como a extrusão, a moldagem por injeção, a moldagem por compressão, a calandragem, entre outros, sendo a extrusão e a injeção os mais utilizados. A mistura do polímero apolar com a fibra de madeira polar resulta em uma fraca adesão, assim se tornando necessário o uso de aditivos como agentes de acoplamento, para aumentar a adesão entre os componentes. Ainda podem ser adicionados aditivos para melhorar as propriedades e o desempenho final dos compósitos. No Brasil o uso de CMP ainda não é muito significativo comparado aos produtos convencionais, por outro lado em países da Europa, nos Estados Unidos e na China tem-se uso expressivo em diversas aplicações. O uso de CMP em larga escala já é realidade em muitos países, se mostra uma boa opção para substituição da madeira em uso externos, porém a produção ainda enfrenta desafios para se conseguir um fluxo constante de matéria-prima.

Palavras-chave: Resíduos florestais. Termoplásticos. Extrusão. Aditivos.

ABSTRACT

The purpose of this study was to realize a bibliographic review about WPC, gathering information regarding the history, productive process and applications of the product. The generation of large volumes of plastic waste in general human activities and forest waste from the logging industry, has been a reason of a big concern of the society, opening space to development of new materials reuse alternatives. Was created in 1971, in Italy the process called *Woodstock*® that started production of Wood Plastic Composites, containing Polypropylene – (PP) and 50% of wood flour. The WPC can be defined as any composite that has wood and plastic resin in its composition. The main applications of this material are in construction, automotive industry, structural applications, decks, door and window frames. The most used plastics in the process are the thermoplastics, that melt in temperatures below 200 °C, such as polyethylene with high and low density, polypropylene, polyvinyl chloride, polyethylene terephthalate and polystyrene. For WPC production may be used many kinds of productive processes like extrusion, injection molding, compression molding, calendaring and others, being the extrusion and injection the most used. Mixing a nonpolar polymer with the polar wood fiber results in a poor adhesion between the components. Additives can still be added to improve properties and final performance of the composites. In Brazil the use of WPC is still not very significant compared to conventional products, on the other hand in countries in Europe, in the United States and in China it has been widely used in several applications. The use in large scale of WPC is already happening in many countries, it shows being a good option in replacement for wood in outside uses, however the production still faces challenges in getting a continuous flow of raw materials.

Keywords: Forest waste. Thermoplastics. Extrusion. Additives.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MADEIREIRA	11
2.2	PLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E RECICLAGEM	12
2.3	HISTÓRICO DOS CMP	14
2.4	COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO (CMP)	15
2.5	PROCESSO DE PRODUÇÃO E MATÉRIA PRIMA	16
2.5.1	Aditivos.....	23
2.6	ESTUDOS COM CMP NO BRASIL	24
3	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS	28
	ANEXO A – Tabela de conversão mesh para inches (in) e milímetros (mm).....	32

1 INTRODUÇÃO

Os constantes aumentos nos volumes de rejeitos resultantes das atividades humanas, principalmente os plásticos, desencadearam no desenvolvimento de novas tecnologias para reaproveitamento e reciclagem de materiais.

Desde a década de 70, a utilização de farinha de madeira ou fibra de madeira como carga em termoplásticos é conhecida pela indústria automobilística, que utiliza compósitos de polipropileno com 50% de farinha de madeira, conhecidos no mercado como processo *Woodstock*® (SCHUT, 1999; CORREA *et al.*, 2003).

No Brasil o uso de Compósitos Madeira-Plástico (CMP) ainda não é muito significativo comparado aos painéis convencionais, já nos Estados Unidos e Europa ocorre uso expressivo na construção civil, indústria automobilística, aplicações estruturais, construção de decks e estruturas expostas em ambientes externos (REZENDE *et al.*, 2013). As características que dizem respeito à baixa manutenção, a resistência a mofos e apodrecimento, menor desgaste à radiação solar, a maresia e a umidade, despertaram o interesse dos americanos pelos CMP e com isso 35% das varandas e pátios dos Estados Unidos são feitos com este tipo de produto (TRIGUEIRO; BROCARDI, 2012).

Os compósitos madeira-plástico (CMP) se referem a qualquer compósito que contenha madeira e plásticos termofixos ou termoplásticos em sua composição (CLEMONS, 2002).

A intensa busca por soluções em produtos ecologicamente corretos virou uma tendência de mercado, podendo assim beneficiar o setor florestal, à medida que os resíduos possam ser reutilizados, havendo um aumento da fabricação industrial, sem que haja necessidade de implementação de novos povoamentos florestais para produção de CMP (TALGATTI *et al.*, 2017).

A geração de resíduos pelo setor madeireiro é inevitável e seu armazenamento gera um grande inconveniente, pois são resíduos de baixa densidade e que exigem grande espaço para estocagem, como é o caso da serragem. Além disso são altamente inflamáveis, trazendo risco de incêndios para o parque fabril e no transporte (YAMAJI, 2004).

Os resíduos plásticos possuem uma baixíssima degradabilidade, ocupam grande volume e seu crescente uso na área de embalagens, cujo descarte é rápido, fazem com que haja o agravamento dos problemas ambientais, inclusive diminuindo a vida útil dos aterros sanitários (CARASCHI; LEÃO, 2002).

A reciclagem é uma forma de aumentar a vida útil dos plásticos e deve ser motivada por aspectos socioeconômicos e ambientais, sendo relacionada à economia de energia, à preservação de fontes esgotáveis de matéria prima, à redução de custos com disposição final de resíduos, a economia na recuperação de áreas degradadas pela má destinação de resíduos, ao aumento da vida útil de aterros sanitários, à redução de gastos com limpeza e saúde pública e ainda a geração de emprego e renda na reciclagem e transformação dos resíduos em novos produtos (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Em decorrência desses fatores, a importância de uma revisão bibliográfica sobre o tema proposto fica evidente para difusão de informações a pessoas e setor incentivador do uso desse material alternativo, haja visto a necessidade iminente de destino adequado de resíduos que acompanham o crescimento populacional.

O objetivo do presente estudo foi realizar um levantamento bibliográfico referente ao tema compósito madeira-plástico a fim de compilar em um único documento informações referentes ao histórico desse tema no Brasil e no mundo, processo produtivo e aplicações do produto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MADEIREIRA

Conforme Yamaji (2004) apesar dos plásticos serem um dos grandes motivos de preocupações da sociedade, outras atividades como a madeireira vem afetando o equilíbrio do meio ambiente pelo grande volume de resíduos gerados.

Os resíduos florestais são gerados basicamente em duas etapas, sendo a primeira nas atividades florestais e a segunda no processamento da madeira. Os resíduos gerados no processamento da madeira são os mais relevantes para a preparação de compósitos madeira plástico pelo principal motivo de estarem concentrados em um local, o que torna seu uso mais viável (LOPES *et al.*, 2016).

No Brasil é estimada anualmente a produção de 30 milhões de toneladas de resíduos de madeira, sendo a principal fonte geradora destes resíduos as indústrias madeireiras (BIOMASSA BR, 2016).

Apesar da maioria das empresas do setor madeireiro obter a serragem como resíduo, existe algumas onde a serragem faz parte do produto final, o que faz com que ela possa ser comercializada atendendo especificações técnicas de granulometria, teor de umidade, espécie de madeira, cor, garantia de qualidade e fornecimento contínuo (YAMAJI, 2004).

Cerca de 14% do volume de toras processadas nas serrarias da região Sul do Brasil se transformam em serragem, que apesar de em parte ser utilizado como combustível ou na produção de chapas, seu excedente normalmente é queimado ou depositado a céu aberto em ambientes inadequados, acarretando em uma alta carga orgânica no solo e podendo vir a ser carregados para rios e córregos (BRANCO *et al.*, 2005).

O acúmulo dos resíduos em serrarias, principalmente a serragem, pode prejudicar o processo de produção pelo fato de ocuparem grandes volumes e com isso devem ser rapidamente removidos (YAMAJI, 2004).

O aumento das obrigações quanto ao manejo de resíduos permitiu o desenvolvimento de novos produtos, dentre estes os compósitos madeira-plástico, que tem um papel importante dentro da reciclagem (CLEMONS, 2002; FALK, 1997).

2.2 PLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E RECICLAGEM

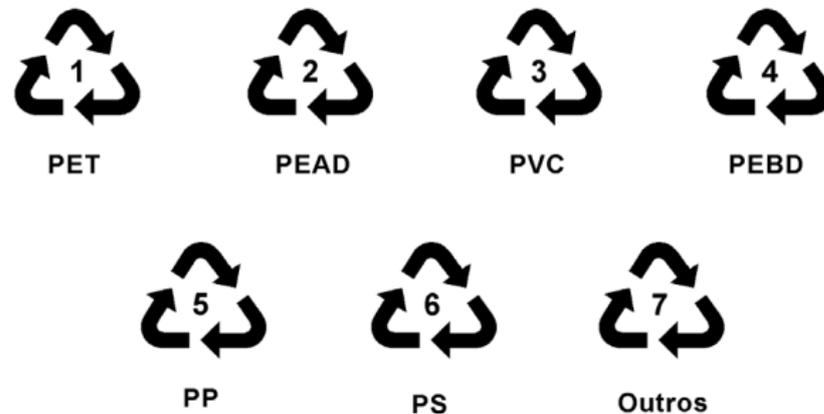
De forma a garantir um desenvolvimento sustentável, está sendo dada muita ênfase a conservação e preservação do meio ambiente, e o plástico tem papel destaque, no que se refere a resíduos que causam danos ao meio ambiente, principalmente porque em geral os resíduos plásticos levam muito tempo para sofrerem degradação, e quando queimados liberam gases tóxicos como as dioxinas, os furanos, o mercúrio e os bifenilos policlorados (CARASCHI; LEÃO, 2002). Existe uma tendência para o aproveitamento desses resíduos, considerando o imenso valor potencial dos materiais processados e as consequências dos desperdícios, e a poluição gerada pelo seu não reaproveitamento (MANO; BONELLI, 1994).

Em relatório apresentado pelo Fundo Mundial para Natureza – WWF (2019) na assembleia das Nações Unidas para o meio ambiente, o Brasil aparece com o quarto lugar na geração de resíduos plásticos, com mais de 11 milhões de toneladas por ano, e cada brasileiro em média um quilograma por semana.

Segundo Spinacé e De Paoli (2005) apesar da grande variedade os termoplásticos do tipo PE (Polietileno), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno), PVC (Policloreto de vinila) e o PET (Politereftalato de etileno) representam cerca de 90% de todo o consumo nacional, e de modo geral os segmentos da indústria que são mais interessados em reciclar seus resíduos poliméricos são os de embalagens e o automotivo.

Promover a reciclagem e reaproveitamento de materiais deve levar em consideração o custo da separação, coleta, transporte, armazenagem, preparação para processamento, quantidade disponível, a distância entre fonte geradora e processadora, custo de processamento, aplicações do produto resultante e a demanda do mercado para este produto (INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS, 2010). A fim de facilitar a identificação, foi padronizada uma simbologia, em que os materiais podem ser reconhecidos, podendo ser descartados de forma seletiva para posterior encaminhamento a indústria recicladora (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005) (Figura 1).

Figura 1 – Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas segundo a Norma NBR 13.230 da ABNT.



PET = Poli(tereftalato de etileno), PEAD = Polietileno de alta densidade, PVC = Poli(cloreto de vinila), PEBD = Polietileno de baixa densidade, PP = Polipropileno, PS = Poliestireno

Fonte: Adaptado de Spinacé e De Paoli (2005).

De acordo com o Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos (2010) a reciclagem deste material pode ser dividida em três categorias: a reciclagem mecânica, química e energética. A reciclagem mecânica consiste na conversão dos descartes plásticos em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos compostos por um único tipo ou misturas de diferentes plásticos; a reciclagem química tem por objetivo a recuperação dos componentes químicos individuais dos plásticos para reutilização como produtos químicos ou produção de novos plásticos, esta por sua vez permite tratar misturas de plásticos, reduzindo custos de coleta, seleção e pré-tratamento, além de produtos novos com a mesma qualidade do polímero original. Por fim a reciclagem energética, que faz uso dos plásticos que não estão em condições de reciclagem como combustível em energia elétrica e térmica, devido seu alto poder calorífico, onde 01 quilograma (kg) de plástico pode equivaler a energia de 01 kg de óleo diesel.

A reciclagem química e energética são métodos bastante utilizados no mundo, já no Brasil a reciclagem mecânica é a mais utilizada por causa de fatores como: o custo de mão-de-obra, o baixo investimento na instalação e o grande volume de polímeros pós-consumo (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

2.3 HISTÓRICO DOS CMP

Surgiu em 1971, na Itália o processo chamado de *Woodstock*®, que foi patenteado pela fabricante de máquinas ICMA San Giorgio e a processadora G.O.R. Applicazioni Speciali SpA, esta por sua vez iniciou a produção de revestimentos de portas e outras partes internas de veículos para a fabricante Fiat (SCHUT, 1999). No processo o polipropileno (PP) é misturado com aproximadamente 50% de farinha de madeira, que são extrusados e laminados em chapas para revestimento interno de veículos (CLEMONS, 2002).

A mesma tecnologia italiana passou a ser utilizada em 1983 no estado americano do Wisconsin, pela American Woodstock, para produção de revestimentos internos de veículos, se tornando a primeira aplicação em larga escala dos CMP nos EUA (CLEMONS, 2000).

No início dos anos 90, a AERT (Advanced Environmental Recycling Technologies) do Texas e a Mobil Chemical Company, iniciaram a produção de CMP maciço com 50% de fibras de madeira misturados com polietileno (PE), para utilização em decks, mesas de piquenique, pisos industriais e usos externos (YOUNQUIST, 1995). Compósitos similares foram utilizados para produção de aberturas de portas e janelas, porém o uso para decks veio a se tornar o maior e de mais rápido crescimento no mercado de CMP dos EUA (CLEMONS 2002).

Em 1991, era realizada a primeira conferência internacional sobre compósitos envolvendo Madeira-plástico em Madison, Wisconsin, que trouxe oportunidades de troca de ideias e tecnologias por parte da indústria de produtos florestais e plásticos abrindo assim espaço para desenvolvimento do setor e posteriores novos eventos (CAULFIELD *et al.*, 2005).

A partir de 1996, diversas empresas nos EUA iniciaram a produção de matéria prima de madeira e plástico peletizada, com o objetivo de fornecer os *pellets* a processadores de CMP que não queriam depender de toda a cadeia produtiva (CAULFIELD *et al.*, 2005). Ainda segundo o autor a consequência disso foi um acelerado crescimento do setor, aliado com o desenvolvimento de tecnologias.

De acordo com Clemons (2002) o crescimento desse produto que teve início na Europa e vem sendo produzidos nos Estados Unidos teve início com a aproximação da indústria madeireira e o setor de plásticos, além do aperfeiçoamento da tecnologia de produção.

O custo dos CMP apesar de ser aproximadamente três vezes mais alto que a madeira convencional, tem seu uso em boa parte dos ambientes externos nos EUA, sendo um mercado já consolidado há aproximadamente 20 anos (TRIGUEIRO; BOCARDI, 2012).

De acordo com Eder e Carus (2013) as maiores produções de CMP se concentram na América do Norte com alcance de 48% do mercado, seguido da China com 33%, da Europa com 9%, do Japão com 4%, entre outros, tendo a China como destaque, onde o crescimento da indústria de compósitos madeira-plástico teve um aumento de 25% ao ano, bem superior aos 8% na América do Norte e 11% na Europa.

2.4 COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO (CMP)

Segundo Maciel *et al.* (2004) os compósitos madeira-plástico (CMP), são produtos obtidos a partir de uma matriz de resina termoplástica reforçada com partículas de madeira, com isso combinando as melhores qualidades de cada constituinte.

Segundo Koenig e Sypkens (2002) existe uma perspectiva de aumento na utilização de compósitos madeira-plástico, devido as diferentes formulações resultarem na obtenção de produtos com propriedades superiores ao plástico e até mesmo superiores a própria madeira.

De acordo com Clemons (2002) CMP se referem a qualquer compósito que contenha madeira e uma resina termofixa ou termoplástica. As termofixas são aquelas que uma vez passadas pelo processo de cura, não podem mais ser reaquecidos e incluem as resinas do tipo epóxis e os fenólicos, por sua vez os termoplásticos são os que podem ser derretidos diversas vezes como os polietilenos e policloreto de vinila (PVC). A forma mais frequente encontrada nos CMP são os termoplásticos (CLEMONS, 2002; ALMEIDA, 2013).

No processo de produção do CMP a proporção de madeira, plásticos e aditivos depende do processo de fabricação utilizado e das propriedades que se quer atingir no produto acabado, podendo as proporções de fibras de madeira ocupar de 20 a 85% do volume (LIUKKO *et al.*, 2007).

A utilização de compósitos madeira-plástico vem crescendo rapidamente, em grande parte devido as vantagens desse tipo de produtos em relação a madeira convencional, como não rachar, não empenar e exigir pouca ou nenhuma manutenção (YOUNGQUIST, 1995). Outra característica importante é que os CMP podem ser trabalhados com as mesmas máquinas e ferramentas utilizadas para trabalhar com madeira, podendo ser serrado, parafusado, pregado, furado e até aplainado como uma peça de madeira. (KOENIG; SEPKENS, 2002).

Segundo Biron (2013) os CMP podem ser utilizados em vários setores e atividades como: para decks, pisos, revestimentos de fachadas, construção civil em geral, móveis internos

e externos, infraestrutura, pallets, automotivo, instrumentos musicais, cabos em cutelaria, entre outros (Figura 2).

Figura 2 – Aplicação dos CMP. Residência (A); Decks para piscinas (B); Fachadas de prédios (C); Suinocultura (D); Bovinocultura (E); Cercas de propriedades rurais (F).



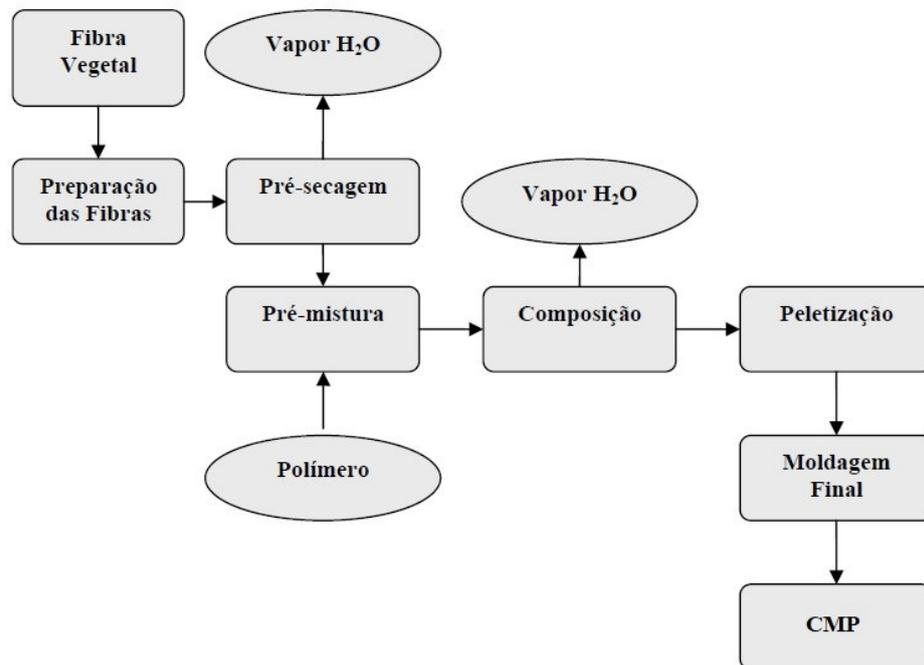
Fonte: In Brasil e Ecopex (2019).

De acordo com Wolcott (2003) o termoplástico utilizado contribui para o aumento excessivo dos custos do produto, devendo assim ser priorizado a utilização de plásticos reciclados para reverter esse quadro e deixar o produto final mais competitivo.

2.5 PROCESSO DE PRODUÇÃO E MATÉRIA PRIMA

A extrusão, moldagem por injeção, moldagem por compressão, a calandragem e outras tecnologias podem ser empregadas no processo produtivo dos CMP, porém os sistemas de extrusão e injeção são os mais utilizados (VÄNTSI, 2015). Para qualquer compósito termoplástico, os componentes devem ser previamente misturados para em seguida ocorrer a moldagem para o produto desejado (SCHWARZKOPF; BURNARD, 2016) (Figura 3).

Figura 3 – Esquema do processo de fabricação dos CMP.



Fonte: Adaptado de English *et al.*, 1996.

Segundo Clemons (2002) devido ao limite de estabilidade termal da madeira, os termoplásticos que se fundem em temperaturas abaixo de 200 °C são os comumente usados em CMP. De acordo o mesmo autor os plásticos como o polietileno são geralmente utilizados para componentes de construções em uso externo, o polipropileno por sua vez usado quando se buscam aplicações no setor automotivo ou em produtos de consumo, outros como o PVC geralmente utilizado em janelas e decks sendo os plásticos usualmente selecionados conforme suas propriedades inerentes, necessidade do produto, custos e disponibilidade.

De acordo com Gardner e Murdock (2002) o Policloreto de vinila (PVC) é o termoplástico que proporciona a maior resistência e rigidez nos compósitos madeira-plástico, seguido do polipropileno (PP) e do polietileno (PE) além disso altas porcentagens de plásticos no compósito conferem uma maior resistência a absorção de umidade do produto final.

Os autores Bledzki *et al.* (2002) citam que a secagem das fibras de madeira antes do seu processamento é um fator importante, porque a umidade na superfície da fibra age como um separador entre fibra e polímero, podendo assim surgir vazios na matriz fundida durante a evaporação da água, fenômeno que pode acarretar na diminuição das propriedades mecânicas.

A farinha de madeira deve ser seca a uma umidade inferior a 1%, por facilitar a mistura com o polímero, porém devido à baixa umidade não pode ser estocada por muito tempo, porque o material tende a absorver umidade do ambiente (GARDNER; MURDOCK, 2002). Ainda segundo os autores existem vários meios para retirar o excesso de umidade das fibras de madeira, como pelo uso de pré aquecedores antes de colocar o material na extrusora, na utilização de misturadores de alta intensidade, para a mistura da farinha de madeira com o polímero ou ainda com a utilização de forno rotativo.

A produção de perfis ocós trouxe grandes benefícios como a diminuição dos custos, aumento nas taxas de produção na extrusão (GARDNER; MURDOCK, 2002) (Figura 4).

Figura 4 – Modelos de CMP ocós para uso em deck.



Fonte: SIDHARTA, 2011.

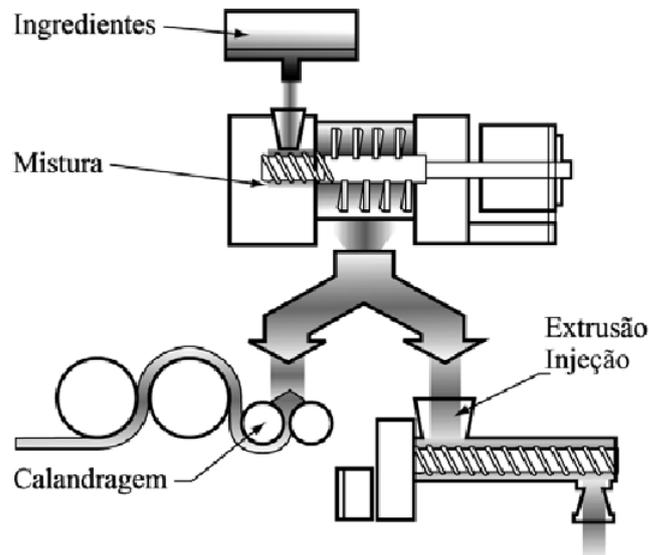
A mistura ou composição consiste em unir a madeira ao componente polímero, sendo um procedimento importante, onde as partículas de madeira devem ser uniformemente dispersas ao longo do polímero fundido (SCHWARZKOPF; BURNARD, 2016). Caso não ocorra uma dispersão uniforme das partículas, o compósito terá suas propriedades mecânicas reduzidas (CLEMONS, 2002). Ainda segundo o autor, após este processo o material pode ir diretamente para modelagem final ou ainda ser transformado em *pellets* para uso posterior.

Os autores Bledzki *et al.* (2002) comentam que *pellets* são produzidos em extrusoras de rosca dupla com alta rotação, e estes são processados posteriormente em outras operações, utilizando extrusoras mono rosca ou rosca simples, uma combinação de processos que foi requerida para limitar a degradação termal das fibras da madeira.

Várias opções podem ser adotadas na mistura e preparação de concentrados a base de compósitos celulósicos termoplásticos usando processos do tipo batelada como por exemplo o

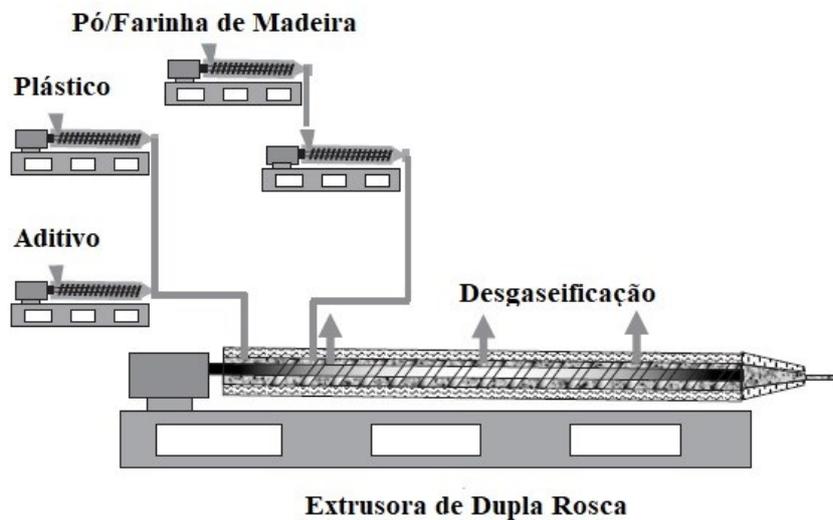
misturador do tipo k-mixer (Figura 5) ou processos contínuos como por exemplo com extrusora de dupla rosca (Figura 6).

Figura 5 – Processo por batelada em misturador interno do tipo k-mixer.



Fonte: Adaptado de Correa *et al.* (2003).

Figura 6 – Processo contínuo em extrusora dupla rosca.



Fonte: Adaptado de Biron (2013).

No processo moldagem por extrusão o polímero é fundido e então as partículas de madeira e outros aditivos são misturados ao polímero (VÄNTSI, 2015). A mistura gerada é alimentada na extrusora que pode ter uma ou duas roscas, que por sua vez misturam e movem

o material para frente pelo barril da extrusora, enquanto o mesmo é aquecido pela fricção gerada e por zonas de aquecimento ao longo do comprimento do barril (SCHWARZKOPF; BURNARD, 2016). Ao final o material passa por uma matriz onde é dado ao produto a forma desejada, como por exemplo perfis ocos, sólidos e granulados (VÄNTSI, 2015).

Segundo Faruk *et al.* (2012) são tipos comuns de extrusoras utilizadas na produção de CMP as mono rosca, contra-rotação de dupla rosca e co-cotação de dupla rosca. Ainda segundo os autores as extrusoras de dupla rosca são usadas comumente em operações de larga escala, onde a de contra-rotação tem uma rotação mais baixa, o que reduz o risco de queima dos materiais e o menor cisalhamento comparado à co-rotação, porém a extrusora de rosca dupla e co-rotação processa materiais com umidade ambiente, pois é capaz de secá-los no processo, diferente das extrusoras contra-rotação que necessitam equipamento adicional para secagem.

Para o processamento dos compósitos madeira-plástico por extrusão pode-se destacar quatro categorias distintas de conjuntos de equipamentos (CORREA *et al.*, 2003).

- A) Madeira pré-secada; mistura pré-homogeneizada (*Pre-dry; Pre-mix*): Nesse processo a fibra de madeira é submetida a pré-secagem para atingir umidade inferior a 1% é alimentada em uma extrusora rosca-dupla contra-rotacional juntamente com o polímero, na forma de pó. Em seguida a mistura de madeira e polímero e aditivos é preparada em misturadores intensivos do tipo Henschel antes de ir para a extrusora. O sistema é utilizado nos termoplásticos que se fundem com baixas temperaturas como é o caso do PVC.
- B) Madeira pré-secada; alimentação polímero-madeira em separado (*Pre-dry; Split Feed*): Processo pelo qual a resina e a fibra são adicionadas separadamente propiciando um melhor controle no tempo de residência da carga celulósica durante o processamento. Para isto são normalmente utilizadas extrusoras de rosca dupla de grande capacidade, alimentados lateralmente, onde a fibra é misturada ao polímero fundido, que passam por zonas de mistura distributiva e eliminação da umidade residual.
- C) Madeira úmida primeiro; alimentação do polímero fundido (*Wood First; Melt Feed*): Nesse tipo de processo são necessárias duas extrusoras que operam de forma simultânea. Uma primária secando a farinha de madeira e outra menor plastificando o polímero e os aditivos.
- D) Madeira úmida primeiro; alimentação em separado (*Wood First; Split Feed*): No processo a farinha de madeira pode ser inserida na zona de alimentação ainda úmida e a mistura da resina e aditivos introduzidos no barril posteriormente através

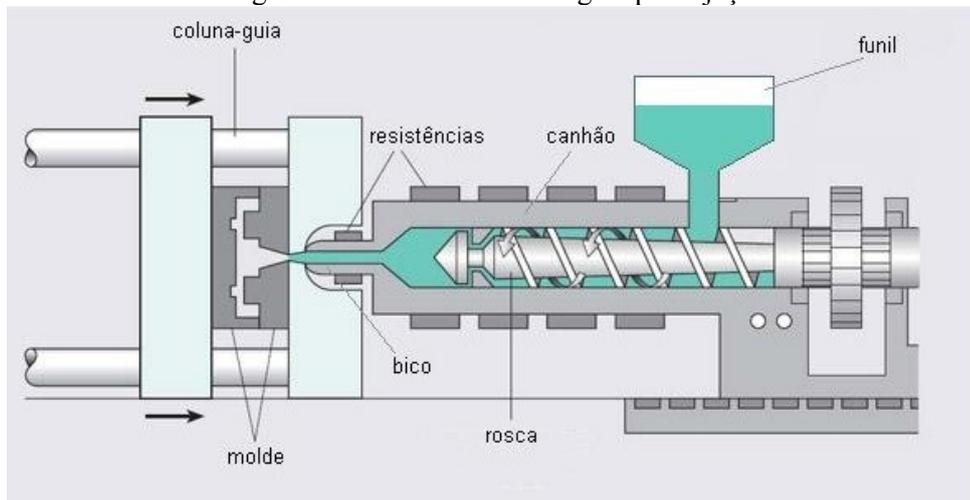
de um alimentador lateral. Esse processo requer equipamentos com barris muito longos e zonas para eliminação da umidade residual próximas a zona de alimentação, algo que nem sempre é possível.

Segundo Correa *et al.* (2003) para os processos os quais a extrusora é utilizada para a secagem das partículas de madeira, pode haver problemas na consistência da massa fundida devido as alterações de umidade, com isso a alternativa mais segura ainda é a utilização do resíduo de madeira já pré-secado.

As extrusoras ainda podem ser equipadas com unidades de injeção de gás, com o objetivo de produzir perfis com densidade reduzida (YAMAJI, 2004).

O processo de moldagem por injeção, apesar de menos utilizado que o por extrusão na produção de CMP, pode ser utilizado para fazer uma variedade de produtos com formatos complexos (SCHWARZKOPF; BURNARD, 2016). Ainda segundo os autores o processo de moldagem por injeção é similar ao de extrusão, porém ao invés do material misturado ser moldado passando por uma matriz ao final do barril, este é injetado em um molde, que por sua vez é resfriado e em seguida ejetado para que uma próxima peça possa ser formada (Figura 7).

Figura 7 – Processo de moldagem por injeção.



Fonte: Fer-Plastic (2016).

A madeira utilizada no processo é geralmente em forma de partículas com tamanho de 10 a 80 mesh (Anexo A), e compoendo aproximadamente 50% do produto, podendo em alguns casos chegar a 70% (CLEMONS, 2002).

Para as aplicações em maioria dos termoplásticos são utilizadas farinha de madeira com partículas na faixa de 40 a 80 mesh (SCHUT, 1999). Ainda segundo o autor existem

empresas que utilizam farinha de madeira a 200 mesh, já outras a 20 mesh, fator que depende do produto que se deseja produzir, sendo que partículas muito finas trazem maior rigidez às peças, porém diminuem a resistência a impactos, por outro lado fibras mais longas contribuem para a rigidez e baixo peso do produto final, porém são mais difíceis para se misturarem no processo de produção do compósito. O pó ou farinha de madeira é a forma mais comum encontrada nas misturas dos compósitos madeira-plástico (STARK, 1999).

Conforme Koenig e Sypkens (2002) o pó ou farinha de madeira de folhosas são tipicamente preferidas para a produção de compósitos madeira-plástico, pelo motivo de que a maioria das coníferas apresentarem compostos aromáticos em sua composição que podem ser inflamáveis. Ainda segundo os autores o pó ou farinha de madeira pode ser definido como partículas menores que 20 mesh, medida que corresponde a aberturas em uma tela em uma polegada linear, sendo quanto maior o número do mesh, menor o tamanho das partículas

Um percentual elevado de madeira no compósito resulta em uma melhor rigidez do produto final, porém percentuais acima de 65% fazem com que as chances de absorção de umidade aumentem, pelo fato de ser menos provável que a madeira seja completamente encapsulada pelo polímero (GARDNET; MURDOCK, 2002).

São utilizadas diversas fontes de cargas no processo de fabricação dos CMP, dentre elas a farinha de madeira, que por sua vez possui como desvantagem a absorção elevada de umidade, e limitação de temperatura no processamento, por outro lado, utilizar como carga as fibras de madeira tem como vantagens uma menor abrasividade em relação às cargas minerais, aumentando a vida útil dos equipamentos, além de ser um componente biodegradável (MONDARDO, 2006).

Em estudo Wolcott (2003) estuda duas formulações com serragem, polietileno de alta densidade (PEAD), aditivos e lubrificantes, variando entre as mesmas formulações duas espécies de madeira, sendo uma *Pinus taeda* L. e a outra *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Douglas-fir), processadas em serragem seca e extrusados com PEAD, seguindo as mesmas técnicas de processamento. Apesar das espécies apresentarem módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), à flexão, similares e os compósitos produzidos apresentarem a mesma densidade, os compósitos produzidos com Douglas-fir apresentaram valores superiores de MOE e MOR em 78% e 76%, respectivamente, dos valores apresentados para os compósitos a base de *Pinus taeda* L.. Esta diferença foi atribuída a diferente interação entre madeira e plástico nos compósitos, sugerindo que a espécie de madeira deve ter uma significativa influência na estrutura final do compósito madeira-plástico e como consequência em suas propriedades.

2.5.1 Aditivos

A mistura de um polímero apolar com o pó de madeira ou qualquer fibra natural altamente polar resulta em uma fraca adesão, sendo assim necessário o uso de agentes de acoplamento que possuem na sua estrutura uma parte apolar semelhante ao polímero utilizado, e uma parte polar semelhante a fibra da madeira, para aumentar a adesão entre as mesmas (POLETTI, 2017). Com o objetivo de melhorar as propriedades e o desempenho final dos compósitos madeira-plástico são adicionados de 0 a 5% de aditivos na mistura (OPORTO, 2015).

Conforme Wang (2007) os aditivos podem ser separados nas seguintes categorias:

- A) Agentes compatibilizantes ou de acoplamento: são utilizados como forma de aumentar a propriedades mecânicas, devido a madeira ser hidrofílica a torna incompatível com polímeros termoplásticos hidrofóbicos. São adicionados compatibilizantes para justamente influenciar a ligação interna entre madeira e polímero formando ligações covalentes fortes ou ligações de hidrogênio. Os principais produtos utilizados para esta finalidade são o polipropileno-anidrido maleico (PPMA) e polietileno-anidrido maleico (MAPE).
- B) Lubrificantes: são utilizados para reduzir o atrito no processo de conformação, por sua vez aumentar o rendimento e melhorar a aparência da superfície do CMP.
- C) Pigmentos ou corantes: adicionados para se obter a cor desejada ao produto, devendo ser adicionados de 1 a 3% de pigmentos para sobrepor a coloração da madeira. Podem ainda estar associados ao pigmento a adição de estabilizantes ultra-violeta (UV), para proteger o plástico e a cor da degradação, além de retardantes de chama para reduzir a tendência a propagação de fogo (OPORTO, 2015).
- D) Agentes espumantes: utilizados com interesse de reduzir peso e custo do material, além de melhorar a aparência da superfície, velocidade de processamento, usinabilidade e facilidade no acabamento de produtos. Segundo Oporto (2015) ainda podem ser utilizados produtos para preenchimento como o talco para reduzir custos, melhorar a rigidez e a durabilidade.
- E) Biocidas: adicionados para proteger a fração de madeira do ataque de insetos e fungos. Mantem a aparência da superfície do componente plástico e preserva a componente

madeira da deterioração. O borato de zinco é comumente utilizado como preservativo em CMP.

2.6 ESTUDOS COM CMP NO BRASIL

Em estudo realizado por Bento e Santana (2010), foram avaliadas as propriedades de CMP com três diferentes polímeros, o polipropileno (PP), o polietileno de alta densidade (PEAD), o poliestireno alto impacto (HIPS) e pó de madeira de *Eucalyptus* spp. Os autores concluíram que o grau de mistura da carga na matriz polimérica é um fator importante e influencia as propriedades do compósito. Segundo os autores a matriz de PEAD promoveu o melhor desempenho mecânico, porém uma menor fluidez o que poderia ser um problema para o processamento, portando neste caso a matriz PP seria a melhor escolha. Por fim a adição de carga particulada diminui a resistência ao impacto e dureza dos compósitos, embora deva ser levado em conta se tratar de um produto ecológico.

Em estudo realizado por Correa *et al.* (2003), os autores concluíram que compósitos madeira-plástico apresentam diversas vantagens competitivas em relação aos convencionais de polipropileno reforçados com fibra de vidro, carbonato de cálcio e talco, das quais pode-se citar: temperaturas mais baixas no processo o que reduz o uso de energia; redução dos ciclos de moldagem em produtos injetados o que acarreta em maior produtividade; aumento da resistência à tração e flexão; menor peso específico; menor quantidade de resina por componente e redução dos custos de transporte por tonelada; e por fim redução no desgaste de ferramentas devido à baixa abrasividade. O estudo ainda conclui resultados positivos para mistura de farinha de madeira com polipropileno e aditivo compatibilizante maleico, como o aumento do módulo de rigidez e resistência à tração, além de mantidas as características hidrofóbicas nos testes de imersão em água.

Um estudo realizado por Talgatti *et al.* (2017) utilizou poliestireno - (PS) proveniente de copos plásticos e maravalha proveniente de resíduos de marcenaria, ambos processados em moinho de martelos com peneira de 5 mm. Foram utilizados resíduos de madeira de três espécies florestais (*Pinus elliottii* Engelm., *Hovenia dulcis* Thunberg popular uva-do-japão e *Maclura tinctoria* L. Don ex Steud. popular tajuva) e formulação do compósito utilizando método de moldagem por compressão em prensa hidráulica a frio e a quente. Os resultados mostram que houve homogeneidade nos resultados e que a espécie pouco interferiu nos ensaios, de modo geral apresentaram boa qualidade atendendo as normativas técnicas quanto a densidade, módulo de ruptura (MOR), elasticidade (MOE) e inchamento em 2 h e 24 h sendo

assim acredita-se que seja pela utilização do poliestireno. Os CMP obtidos, no entanto não apresentaram resultados satisfatórios para os ensaios de ligação interna e arrancamento de parafuso.

Conforme estudo realizado por Maciel *et al.* utilizou-se poliestireno - (PS) e polietileno tereftalato – (PET) proveniente de pós consumo (reciclagem), como aditivo foi empregado o adesivo a base de uréia folmaldeído ou fenol-folmaldeído em teores de 0,6 ou 6%, e três níveis de solução de poliestireno em tolueno (0,4 e 6%), combinados em mistura com partículas de *Pinus elliottii* Engelm (proporção de 50, 75 e 100%), moídos em moinho de facas em espessura média 0,055 mm, e em moinho de martelos com peneira selecionando partículas de 1,0 x 1,0 mm, para produção de painéis por moldagem por compressão, em prensa condicionada a temperatura de 185°C, pressão de 32 kgf/cm² durante 5 minutos. As propriedades ficaram superiores aos mínimos exigidos para a norma seguida ANSI/A208.1-1993 para painéis de baixa densidade, para ambos os polímeros utilizados o aumento do teor de adesivo resultou em painéis mais resistentes, sendo que painéis com adesivo uréia-formaldeído contendo PS apresentaram valores médios mais elevados para MOR e MOE quando comparados com os adesivos fenólicos. Para tração perpendicular independente da composição utilizada os incrementos foram significativos. Em geral os painéis produzidos com 25% e 50% de poliestireno, com solução de poliestireno em tolueno e 4 a 6% de adesivo apresentaram em quase totalidade valores de resistência superiores aos demais, ainda concluiu-se que a utilização de poliestireno em tolueno foi importante para se obter produtos de boa qualidade, pela provável ação do tolueno em promover a adesão entre partículas de poliestireno e madeira.

Os autores Hillig *et al.* (2011) fizeram um estudo avaliando compósitos produzidos com polietileno virgem de alta densidade – (v-HDPE), agente de acoplamento a base de anidrido maleico com nome comercial Polybond 3009 (5%), serragem da indústria moveleira sendo *Pinus taeda* L., painel de fibra de média densidade (MDF) sendo a proporção para *Pinus* e m MDF de 20, 30 e 40% e para *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden de 20 e 30% (não foi possível com 40%), em extrusão em dupla-rosca utilizando a temperatura de 180°C. Os ensaios mecânicos mostraram diferenças nas propriedades dos compósitos confeccionados, em parte relacionada com a diferente granulometria, que era maior no eucalipto, média no pinus e menor no MDF, característica que com que o número de agregados fosse superior no eucalipto. De modo geral a serragem de MDF apresentou compósitos com maior resistência à flexão e a tração, já no MOE não foram encontradas diferenças. Verificou-se ainda que a resistência à flexão, à tração e ao MOE aumentaram a medida que a proporção de serragem teve aumento,

enquanto na resistência ao impacto ocorreu o inverso. Por fim comparando valores obtidos em trabalho anterior com extrusão em mono-rosca, verificou-se maiores valores de resistência à tração e à flexão com dupla-rosca e para maiores proporções de serragem, com isso conclui-se que foi possível transferir as propriedades da madeira para o compósito de melhor forma utilizando a extrusão com dupla-rosca.

Em estudo realizado por Almeida (2013), o autor analisou a viabilidade técnica e econômica da produção de compósitos madeira-plástico a partir de resíduos. Embora chegue a custar 40% a mais em relação a madeira, e as principais dificuldades do negócio serem a inconstante disposição de matéria prima e a falta de políticas e incentivos governamentais, as características de elevada durabilidade e os benefícios ambientais, tornam o produto competitivo no mercado e altamente viável dado as vantagens em relação a madeira.

3 CONCLUSÃO

O acúmulo de resíduos plásticos principalmente nos rios e oceanos acende o debate ambiental sobre o que podemos estar fazendo para mudar este cenário, quais alternativas podemos estar adotando para reutilização e correta destinação deste material. Os compósitos madeira-plástico, entram neste cenário como uma importante alternativa, para reuso e prolongamento da vida útil de plásticos oriundos do descarte de embalagens e materiais pós-consumo, além disso o aproveitamento dos resíduos da indústria madeireira.

Em muitos países o uso de CMP em larga escala já é realidade, no Brasil ainda temos uma baixa cobertura de cidades com programas de coleta seletiva e separação de resíduos sólidos, para posterior reciclagem, isso torna a instalação de indústrias voltadas a fabricação de CMP um desafio para se conseguir um constante fluxo de matéria-prima.

As proporções de plástico e madeira citadas na literatura, apontam que muitas são as possibilidades de uso e aplicações deste material, podendo muito ainda ser desenvolvido, para melhorar cada vez mais o produto final e a aceitação por parte dos consumidores.

Os compósitos madeira-plástico se mostram uma importante opção em substituição da madeira para uso em ambientes externos, pois suas características de baixa absorção de umidade e baixa ou inexistente manutenção, mostram ser um produto competitivo e com bom custo benefício a longo prazo.

Sugere-se estudos para aplicação de compósitos madeira-plástico em sistemas construtivos para bovinocultura e suinocultura, devido as características que o produto apresenta como: a baixa absorção de umidade, a baixa corrosão a agentes químicos, estabilidade termal e isolamento térmico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. B. **Madeira plástica: estudo de viabilidade técnico e econômico a partir do resíduo sólido**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- BIRON, M. Thermoplastics and thermoplastic composites. 2013. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/thermoplastics-and-thermoplastic-composites/biron/978-0-08-102501-7>. Acesso em: 05 out. 2019.
- BENTO, L. S.; SANTANA, R. M. C. Madeira Plástica de Diversas Matrizes Termoplásticas. 2010. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/44612/Poster_5415.pdf?sequence=2. Acesso em: 21 ago. 2019.
- BIOMASSA BR. Os resíduos de madeira gerados anualmente no Brasil são estimados em 30 milhões de toneladas. 2016. Disponível em: <http://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/os-residuos-de-madeira-gerados-anualmente-no-brasil-sao-estimados-em-30-milhoes-de-toneladas/20160211-103419-X618>. Acesso em: 05 out. 2019.
- BLEDSKI, A.K. *et al.* Natural and wood fibre reinforcement in polymers. 2002. Disponível em: <http://www.polymerjournals.com/pdfdownload/874532.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- BRANCO, C. M. *et al.* Aproveitamento de resíduo florestal para húmus. 2005. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=738&subject=E%20mai. Acesso em: 10 out. 2019.
- CARASCHI, J. C; LEÃO A. L; Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 6, p. 1599-1602, 2002.
- CAULFIELD, D F. *et al.* **Wood thermoplastic composites. Handbook of wood chemistry and wood composites**. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 2005.
- COELHO, T. **Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/03/04/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla-apenas-1.ghtml>>. Acesso em: 01 outubro de 2019.
- CORREA, C. A. *et al.* Compósitos Termoplásticos com Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 154-165, 2003.
- CLEMONS, C. Woodfiber-plastic composites in the United States: history and current and future markets. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, 2000.

Disponível em: <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2000/clemo00b.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

CLEMONS, C. Wood-Plastic composites in the United States: The interfacing two industries. **Forest Products Journal**, v. 52, n. 6, p. 10-18, 2002.

ECOPEX. Fachada de madeira ecológica WPC. Disponível em: <https://ecopex.com.br/fachadas/fachada-de-madeira-ecologica-wpc/>. Acesso em: 08 out. 2019.

EDER, A; CARUS, M. Global trends in composites (WPC). **Bioplastics Magazine**, n. 8. p. 6-17, 2013.

ENGLISH, B. *et al.* **Waste-wood-derived Filler for Plastics**. Madison, WI: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1996.

IN BRASIL. Linha de Produtos. Disponível em: <http://www.inbrasil.ind.br/#linha>. Acesso em: 20 ago. 2019.

FALK, B. Wood recycling: Opportunities for the wood waste resource. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 6, p. 17-22, 1997.

FARUK, O. *et al.* Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.

FER-PLASTIC. O processo de moldagem por injeção. 2016. Disponível em: <https://ferplastic.wordpress.com/2016/06/29/o-processo-de-moldagem-por-injecao>. Acesso em: 10 out. 2019.

FUNDO MUNDIAL PARA A NATUREZA – WWF. **Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização**. 2019. Disponível em: <http://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao>. Acesso em: 18 nov. 2019.

GARDNER, D. J.; MURDOCK, D. Extrusion of wood plastic composites. 2002. Disponível em: <http://www.entwoodllc.com/PDF/Extrusion%20Paper%2010-11-02.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2019.

HILLIG, E. *et al.* Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira – Parte II – Extrusão em dupla-rosca. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 335-347, 2011.

KOENIG, K.M.; SYPKENS, C.W. Wood-plastic composites vie for market share. **Wood and Wood Products**, v. 107, n. 5, p. 49-58, 2002.

LIUKKO, T. *et al.* Wood plastic composites in Europe: an introduction to wood plastic composites markets and products. **Baltic Forestry**, v. 13, n. 1, p. 131-136, 2007.

LOPES, Y. M. *et al.* Utilização de resíduos florestais e plásticos para produção de painéis de madeira-plástica com propriedades retardantes de chama para a indústria brasileira. 2016. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/informacoes-florestais/premio-sfb/iii->

premio/monografias-iii-premio/profissional-3/601-profissionais-9-monografia-2/file. Acesso em: 18 nov. 2019.

MACIEL, A. S. *et al.* Painéis de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii Engelm.*, poliestireno (PS), e polietileno tereftalato (PET). **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 257-266, 2004.

MANO, E.B.; BONELLI, C.M.C. A Reciclagem de plásticos pós-consumidos. **Revista Química Industrial**, n. 698, p. 18-22, 1994.

MONDARDO, F. H. **Compósitos de polipropileno e farinha de madeira**. 2006. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MÜZEL, S. D. **Estudo da usinagem dos compósitos plástico madeira e madeira plástica**. 2017. Tese (Mestre em Engenharia Mecânica) – Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá – SP, 2017.

Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. Geração de Energia a partir do lixo urbano, uma iniciativa iluminada da Plastivida. 2010. Disponível em:
<http://www.plastivida.org.br/images/temas/Folder_ReciclagemEnergetica_2010.pdf>. Acesso em: 08 de outubro de 2019.

OPORTO, G. Wood plastic composites. Notas de Aula, 2015.

POLETTO, M. Compósitos termoplásticos com madeira – uma breve revisão. **Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada**, v. 2, n. 4, p. 42-48, 2017.

REZENDE, E.; KAMEOKA, F.; OLIVEIRA, J. A. **Wood Plastic Composites (WPC)**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2009.

SCHWARZKOPF, M. J.; BURNARD, M. D. Wood-plastic composites-performance and environmental impacts. *In*: KUTNAR, A; MUTHU, S. S. **Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts**. Singapore: Springer, 2016. p. 19-43.

SIDHARTA, A. **Wood plastic composites (WPCs) as an alternative to solid lumber**. Thesis (Bachelor of Science) – University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, 2011.

SPINACÉ, M. A. S; DE PAOLI M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

SCHUT, J.H. Wood is Good for Compounding, Sheet & Profile. **Plastics Technology**, v. 45, n. 3, p. 46 -47, 1999.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARKLL, C. **Wood-Based Composite Materials**. Madison, WI: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

STARK, N. M. Wood fiber derived from scrap pallets used in polypropylene composites. **Forest Products Journal**, v. 49, n. 6, p. 39-46, 1999.

TABELA CONVERSÃO MESH. Disponível em:

<http://www.transportedegraneis.ufba.br/arquivos/tabela_mesh.pdf>. Acesso em: 27 de setembro de 2019.

TALGATTI, M. *et al.* Compósito madeira-plástico a partir de resíduos de três espécies florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira.**, Colombo, v. 37, n. 91, p. 277-283, jul./set. 2017.

TRIGUEIRO, A; BOCARDI, R. **Madeira plástica evita derrubada de árvores para fabricar móveis.** 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2012/09/madeira-plastica-evita-derrubada-de-arvores-para-fabricar-moveis.html>. Acesso em: 17 maio 2019.

VÄNTSI, O. **Utilization of recycled mineral wool as filler in wood plastic composites.** Thesis (Doctor of Science) – Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland, 2015.

WANG, Y. **Morphological Characterization of Wood plastic Composite (WPC) with Advanced imaging Tools: Developing Methodologies for Reliable Phase and Internal Damage Characterization.** Thesis (Master of Science) - Oregon State University, Corvallis, OR, 2007.

WOLCOTT, M. P. Production methods and platforms for wood plastics. In: NON-WOOD SUBSTITUTES FOR SOLID WOOD PRODUCTS CONFERENCE, 2003, Melbourne. Proceedings... Melbourne: 2003.

YAMAJI F.M; BONDUELLE A. Utilização da serragem na produção de compósitos plástico madeira. **Revista Floresta**, v. 34, n. 1, p. 59-66, 2004.

YAMAJI, F. M. **Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

YOUNGQUIST, J. A. Unlikely partners: The marriage of wood and nonwood materials. **Forest Products Journal**, v. 45, n. 10, p. 25-30, 1995.

ANEXO A – Tabela de conversão mesh para inches (in) e milímetros (mm).

TABELA CONVERSÃO MESH

Mesh (peneira)	Abertura in	Abertura mm	Mesh (peneira)	Abertura in	Abertura mm
1	1,00	25,4	18	0,0394	1,00
7/8	0,875	22,6	20	0,0331	0,841
3/4	0,750	19,0	25	0,0278	0,707
5/8	0,625	16,0	30	0,0234	0,595
0,530	0,530	13,5	35	0,0197	0,500
1/2	0,500	12,7	40	0,0165	0,420
7/16	0,438	11,2	45	0,0139	0,354
3/8	0,375	9,51	50	0,0117	0,297
5/16	0,312	8,00	60	0,0098	0,250
0,265	0,265	6,73	70	0,0083	0,210
1/4	0,250	6,35	80	0,0070	0,177
3 1/2	0,223	5,66	100	0,0059	0,149
4	0,187	4,76	120	0,0049	0,125
5	0,157	4,00	140	0,0041	0,105
6	0,132	3,36	170	0,0035	0,088
7	0,111	2,83	200	0,0029	0,074
8	0,0937	2,38	230	0,0025	0,063
10	0,0787	2,00	270	0,0021	0,053
12	0,0661	1,68	325	0,0017	0,044
14	0,0555	1,41	400	0,0015	0,037
16	0,0469	1,19			

Observações:

Algumas vezes é usada a convenção de "-" para passagem e "+" para bloqueio. Exemplo: um material granulado -10+100 significa que passa tudo através de uma peneira de 10 mesh (partículas menores que 2 mm) e nada passa através de uma de 100 mesh (partículas maiores que 0,149 mm).

Fonte: Transporte de Graneis Universidade Federal da Bahia (2019).