



COMPÓSITOS DE MADEIRA PLÁSTICA: CONSIDERAÇÕES GERAIS¹

Antonio Claudio Kieling², Genilson Pereira Santana³, Maria Cristina dos Santos⁴

Resumo

O plástico se tornou um passivo ambiental de ordem mundial e qualquer solução contribuirá para reduzir este problema. Dentre as soluções existentes se encontra a madeira plástica, um compósito de plástico e componentes de madeira, como fibras, serragem, sabugo de milho, casca de arroz, etc. Este trabalho tem como objetivo mostrar alguns aspectos da madeira plástica como evolução histórica, composição, produção e aplicação. Inicialmente, é apresentada uma evolução histórica da madeira plástica no mundo e no Brasil. Os dados obtidos da literatura mostram que a madeira plástica pode ser produzida de diversos materiais, destacando-se a serragem de madeira sendo incorporada com termoplásticos recicláveis. Esta revisão mostra também que a produção de madeira plástica tem valores significativos no mercado mundial de plástico, principalmente na China e Estados Unidos da América. Finalmente, evidenciou-se que a madeira plástica possui diversas aplicações no mercado mundial, sendo comercializada normalmente como utensílios domésticos, na construção civil e naval, entre outras.

Palavras-Chave: Evolução Histórica, Termoplásticos Recicláveis, Produção e Aplicação de Madeira Plástica

Wood plastic composites: General considerations. Plastic has become a world-class environmental liability and any solution will help reduce this problem. Among the existing solutions are wood plastic, a plastic composite and components of wood, such as fibers, sawdust, corn cob, rice husk, etc. This work aims to show some aspects of wood plastic as historical evolution, composition, production and application. Initially, a historical evolution of wood plastic is presented in the world and in Brazil. The data obtained from the literature show that the wood plastic can be produced of diverse materials, standing out the wood sawing being incorporated with recyclable thermoplastics. This review also shows that the production of wood plastic has significant values in the world plastic market, mainly in China and the United States of America. Finally, it was evidenced that wood plastic has several applications in the world market, and is usually marketed as domestic utensils, in civil and naval construction, among others.

Keywords: Historical Evolution, Recyclable Thermoplastics, Production and Application of Wood plastic

¹ Parte da tese de doutorando no Curso de Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

² Professor Assistente do Departamento de Engenharia Mecânica, da Escola Superior de Tecnologia, da Universidade Estadual do Amazonas, Av. Darcy Vargas, 1220, Parque 10, Manaus, AM – Brasil. E-mail: antonio.kieling@yahoo.com

³ Professor Titular do Departamento de Química, do Instituto de Ciências Exatas, da Universidade Federal do Amazonas, Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II. Manaus, AM – Brasil. E-mail: gsantana2005@gmail.com

⁴ Professora Titular do Laboratório de Imunoquímica, do Departamento de Parasitologia, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Amazonas, Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II. Manaus, AM – Brasil. E-mail: mcsantos@ufam.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos já existem há muitos séculos. O primeiro registro do aparecimento de materiais compósitos remonta à antiga civilização egípcia, com a introdução do contraplacado e a utilização de um composto de palha com lama para o reforço de tijolos e sarcófagos (BADR et al., 2018). Nos últimos anos, os compósitos podem ser encontrados em diversas áreas, tais como engenharia civil, industrial, estruturas residenciais e monumentos históricos, entre outros (BRIGANTE, 2014).

Embora não haja definição universalmente aceita, um material compósito pode ser visto como um sistema composto de dois ou mais constituintes que diferem em forma ou composição material e/ou que são essencialmente insolúveis um no outro. Em princípio, qualquer combinação de dois ou mais materiais como metálicos, poliméricos ou cerâmicos pode ser usada, porém os constituintes mais empregados são fibra, partícula, lâmina, camada, floco ou carga e matriz. A matriz constitui o corpo ou fase contínua, servindo para dar forma ao compósito; os outros constituintes são denominados estruturais, pois determinam a estrutura interna do compósito. Na prática, a maioria das

composições dos compósitos consiste de um material, chamado matriz e outro material chamado de reforço, adicionado principalmente para aumentar a resistência mecânica e a rigidez da matriz, mas também, por vezes, para modificar a sua condutividade térmica ou resistividade elétrica (CARDARELLI, 2018).

Composto de plástico de madeira (WPC) é um composto feito de madeira e termofixo ou termoplástico. Os materiais compósitos estão classificados em três grupos principais: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras e compósitos estruturais conforme Figura 1 (CALLISTER; RETHWISCH, 2016). Os compósitos reforçados com fibras em matriz polimérica (CMP) são os mais comuns, sendo os mais conhecidos os polímeros reforçados com fibras (PRF), anteriormente considerados compósitos à base de resina (CBR). Esses materiais usam uma resina à base de polímero como matriz, e fibras como o reforço. Por ter relações resistência-peso e rigidez-peso muito elevadas (chamadas de resistência específica e módulo específico), os PRF são os mais comuns e importantes tecnologicamente. A Figura 1 apresenta uma visão esquemática dos materiais compósitos.

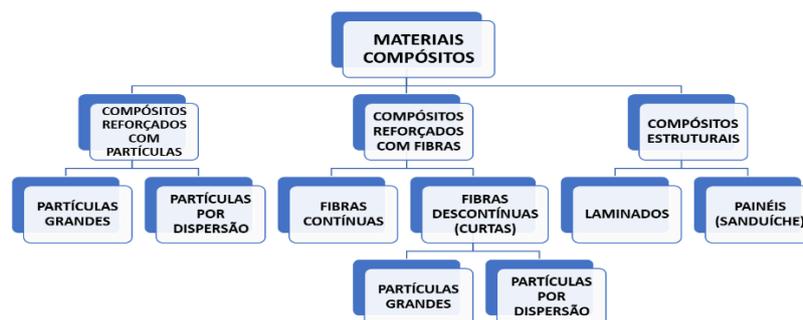


Figura 1 - Classificação dos tipos de compósitos utilizando vários tipos de reforço. Fonte: (Adaptado de CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Dentre os CBR, a madeira plástica é um produto novo que vem substituindo com vantagens a madeira natural, sendo ecologicamente correta e fabricada a partir da transformação de matérias-primas

reaproveitáveis (naturais ou não) e de materiais recicláveis, como resíduos de diversos tipos de plástico e fibras vegetais. A madeira plástica apresenta todas as vantagens que o plástico em si tem: não



racha, não dá cupim nem mofo, não sofre a ação de pragas, insetos e nem roedores, é resistente a umidade, maresia e ao apodrecimento, podendo ser utilizada em todos os ambientes hostis à madeira tradicional, e não requer nenhum tipo de tratamento especial. Além disso, apresenta maior agarre a pregos e parafusos, não solta farpa e pode ser trabalhada com as mesmas ferramentas da madeira e não precisa ser envernizada. A produção de madeira plástica com materiais recicláveis tem como base qualquer tipo de plástico reciclável, podendo ser agregado até 40% de fibras vegetais, como serragem, fibra de coco, bambu, borra de café, sabugo de milho, casca de arroz, algodão, folhas, e mais uma infinidade de outras fibras. É possível acrescentar também corantes na mistura, fazendo qualquer tipo de cor desde que o resíduo plástico a ser usado seja claro (KLYOSOV, 2007). Este trabalho tem como objetivo mostrar alguns aspectos da madeira plástica, tais como evolução histórica, composição, produção e vantagens/desvantagens.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma busca acadêmica de publicações utilizando-se as bases de dados do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e as ferramentas de pesquisa Google Acadêmico e Scielo foi realizada, considerando o período de 2007 a 2018. As palavras chave “*wood plastic composite*” e “*wood plastic production*” foram utilizadas como descritores deste trabalho. A lista inicial foi analisada, sendo excluídos dados não relacionados aos objetivos deste trabalho. Realizou-se também uma busca em livros técnicos na base de dados do Google Livros, utilizando-se como descritores as mesmas palavras chave anteriormente mencionadas.

3. HISTÓRICO DA MADEIRA PLÁSTICA

Estudos realizados mostram que os primeiros projetos de madeira plástica, na década de 50, utilizaram pó de madeira e PP na fabricação de partes internas de carros.

Na década de 70 do século XX, na Itália, foi patenteado um processo de extrusão de *wood plastic* para uma mistura de 50% de pó de madeira e 50% de PP em que o material era inicialmente misturado com uma extrusora dupla rosca e depois extrudado em forma de lâminas (filmes) também para partes interiores de automóveis (ZUCH, 2013). Nas próximas décadas quem tomou parte das pesquisas relacionadas foram os Estados Unidos, ampliando as formas de utilização da madeira plástica. O primeiro registro da produção de madeira plástica também ocorreu na década de 1970, cujo processo de fabricação foi inicialmente desenvolvido na Europa e no Japão. A matéria-prima utilizada era sucatas plásticas pós-industriais, que eram os únicos resíduos plásticos disponíveis e baratos na época. No entanto, a baixa competitividade da madeira plástica produzida levou ao fechamento dessa indústria no Japão (BRASIL, 2017).

Ainda nos anos 70, do século XX, o holandês Eduard Klobbie desenvolveu um sistema de transformação de resíduos de resina sintética termoplástica em um produto similar a madeira plástica. Na década de 1980, algumas empresas passaram a utilizar o sistema de Klobbie para processar diversos tipos de resíduos plásticos e, desde então, a reciclagem mecânica de plásticos vem sendo desenvolvida (ALMEIDA, 2013). No entanto, houve um uso limitado do composto de plástico de madeira antes da década de 1980, devido à falta de familiaridade entre as indústrias de madeira e plástico. Em comum, existem muito poucos fornecedores de materiais e equipamentos e materiais de processo de forma muito diferente e em diferentes escalas (DAC, 2016). No início, a madeira era usada como material de preenchimento para termoplásticos com o uso de lascas de madeira recicladas ou farinha de madeira. Têm algumas vantagens claras em comparação com enchimentos inorgânicos e reforços: mais leves, menos abrasivos, renováveis e de baixo custo. Além disso, melhora a rigidez e a estabilidade dimensional com um aumento mínimo de peso. Em virtude da necessidade de reduzir a quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) nos aterros sanitários devido à falta



de espaço físico e ao elevado custo de transporte, no final da década de 1980, principalmente nos Estados Unidos, iniciou-se a produção de madeira plástica como uma alternativa importante para a redução da disposição final dos resíduos plásticos nesses aterros sanitários (PINHO, 2011). O primeiro experimento industrial da WPC é o interior automotivo fabricado pela American Woodstock, em 1983. Eles produziram substratos de painéis WPC usando tecnologia de extrusão italiana. Polipropileno com aproximadamente 50% de farinha de madeira foi extrudido em uma folha plana que foi então formada em várias formas para painéis automotivos interiores. Esta foi uma das primeiras grandes aplicações da tecnologia WPC nos Estados Unidos (DAC, 2016).

A madeira plástica era utilizada como matéria-prima para a fabricação de mesas de piquenique e bancos de jardim. Posteriormente, durante a década de 1990, foram desenvolvidas tecnologias com a finalidade de produzi-la para substituir a madeira natural em outras estruturas usadas em jardins, como cercas e decks. A falta de padrões e de especificações da indústria de estrutura foi vista como barreira para a aplicação da madeira plástica, principalmente no setor de construção civil (ALMEIDA, 2013). No Japão, a empresa Ein Co. Ltd. patenteou a marca E-Wood que consiste em um compósito plástico-madeira cuja composição básica é de 55% de madeira e 45% de PP. A empresa ainda possui 75 patentes referentes ao compósito plástico-madeira. Em Taiwan, uma empresa iniciou, em 2003, a produção de perfis, pisos e molduras a partir de compósitos plástico-madeira com nome Eubert (BORENSTAIN, 2014).

Embora seja conhecido e há muitas pesquisas em várias décadas, este ainda é um material novo para muitas pessoas. Recentemente, no entanto, a indústria de plásticos de madeira tem crescido muito em todo o mundo, da América do Norte à Europa e Ásia. Ainda no início dos anos 90, a *Advanced Environmental Recycling Technology* (AERT) e uma divisão da *Mobil Chemical Company* (mais tarde

transformada em Trex) começaram a produzir WPCs sólidos consistindo em aproximadamente 50% de fibra de madeira em polietileno. Estes produtos incluem tábuas de convés, madeiras de paisagem, mesas de piquenique e piso industrial. Compósitos similares foram triturados em componentes de janelas e portas. Hoje, o mercado de decks é o maior e mais veloz mercado de WPC. Também no início da década de 1990, a Strandex Corporation começou a produzir perfis e formas de WPC extrudados diretamente no formato final, sem a necessidade de fresamento ou posterior conformação. Em 1993, a Andersen Corporation começou a fabricar WPCs com base em PVC, como perfis de porta e depois caixilhos de janelas. Desde meados dos anos 90, século XX, outros fabricantes de WPC começaram a expandir este mercado. Em 1996, várias empresas norte-americanas começaram a fornecer pellets de madeira ou outras fibras naturais e plástico (chamado composto WPC) para muitos fabricantes que não queriam misturar seu próprio material. Ainda nessa época, a atividade na indústria de WPC aumentou drasticamente com o rápido desenvolvimento da tecnologia e muitos participantes ingressaram no mercado. A primeira Conferência Internacional sobre Compósitos Plásticos de Fibra de Madeira foi realizada em Wisconsin, Estados Unidos, em 1991, onde pesquisadores e representantes industriais de indústrias de plástico e florestais compartilharam ideias e cooperação. O crescimento no mercado de WPC foi realmente impressionante, nos Estados Unidos, de cerca de 50.000 toneladas, em 1995, para 600.000 toneladas, em 2003, e 1,3 milhões de toneladas, em 2015, ocupando 48% do mercado mundial, seguido por China e Europa, com 33% e 9%, respectivamente. As aplicações de construção civil em edifícios (especialmente decks e corrimões) ainda são o maior mercado de WPC, seguido pelo interior automotivo e móveis. A demanda crescente por compósitos de plástico de madeira como substituto de baixo custo e ambientalmente correto para componentes de plástico e aço em aplicações de construção deve



impulsionar significativamente o crescimento do mercado (DAC, 2016).

Os primeiros trabalhos envolvendo a madeira plástica, no Brasil, foram desenvolvidos no IMA (Instituto de Macromoléculas) da UFRJ, na década de 1990, sendo formada a primeira linha de pesquisa regular sobre o assunto. Com essas pesquisas, desenvolveu-se posteriormente uma formulação de madeira plástica consistindo em uma mistura de polietilenos reciclados (75% de PEBD e 25% de PEAD). O IMA desenvolveu ainda o IMAWOOD®, uma "madeira plástica", obtida a partir de resíduos sólidos urbanos, constituídos principalmente de sacos de plásticos descartados, empregados em embalagens diversas. O material desenvolvido apresentava potencial de ser aplicado na indústria de construção civil, em divisórias, pisos, treliças, e também na agropecuária, na construção de mourões de cerca, estábulos e estrados diversos (PAULA; COSTA, 2008).

As prefeituras das cidades do Rio de Janeiro e São Paulo incentivaram o mercado de madeira plástica Brasileiro adquirindo tampas de bueiros produzidas com madeira plástica, minimizando os sistemáticos furtos destes produtos fabricados normalmente com ferro fundido em função de seu maior valor comercial (OLIVEIRA; OLIVEIRA; COSTA, 2013).

4. COMPONENTES DA MADEIRA PLÁSTICA

A madeira plástica apresenta em sua composição uma mistura em proporção definida de seus componentes: serragem/fibras de madeira e termoplástico. A combinação da baixa densidade, resistência química, custo baixo e um balanço entre rigidez e tenacidade permite que termoplásticos desempenhem papel importante na produção de madeira plástica (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Termoplásticos consistem em longas moléculas de comprimento na ordem de 20 a 30 nm e fluem facilmente sob tensão sem elevadas temperaturas, permitindo assim ser fabricados no formato solicitado e mantendo a forma quando resfriados à

temperatura ambiente. Esses polímeros podem ser repetidamente aquecidos, fabricados, resfriados e, conseqüentemente, serem reciclados. Os termoplásticos mais conhecidos são acrílicos, nylon (poliamida), polietileno (PE), poli (éter-éter cetona), poliestireno (PS) e polipropileno (PP) (NAZÁRIO et al., 2016).

Os termoplásticos podem ser classificados em termos de classe de plásticos como polipropileno-polietileno, politereftalato de etileno e policloreto de vinila, termofixos, borrachas e fibras. Algumas características dos termoplásticos são a moldabilidade a altas temperaturas, isolamento térmico e elétrico, resistência ao impacto, baixo custo de mercado e reciclabilidade. Essas propriedades, aliadas a grande diversidade de aplicações do produto, fazem o consumo de polímeros aumentar consideravelmente no mundo (MORASSI, 2013).

Os termoplásticos se fundem ao serem aquecidos a certa faixa de temperatura, o que permite serem moldados. Uma vez resfriados endurecem e tomam uma determinada forma. Como esse processo pode ser repetido várias vezes, esses plásticos são recicláveis podendo ser reaproveitados, são materiais relativamente macios e dúcteis devido às ligações do tipo Van der Waals, que são ligações fracas, permitindo a reversibilidade (MESQUITA, 2018).

Habitualmente resíduos de fibras naturais ou madeiras na forma de serragem são adicionados ao termoplástico reciclável com a intenção de melhorar suas propriedades físico-químicas, permitindo assim uma madeira plástica de qualidade para as mais variadas aplicações residenciais e industriais (KLYOSOV, 2007). Os componentes normalmente usados na fabricação da madeira plástica e suas aplicações estão descritos na Tabela 1.

Referente a madeiras utilizadas, verifica-se que a indústria de processamento gera bastante resíduos que podem ser classificados em três tipos diferentes: a) serragem: resíduo de operações de corte com serras metálicas, b) maravalha: resíduo de operações de plainas e beneficiadoras de



madeira, e c) lenha: quando os resíduos apresentam grandes dimensões. Cerca de 5% de resíduos na forma de serragem são gerados na indústria moveleira madeireira (HILIG, 2013). Na indústria serralheira, o aproveitamento de toras brutas é de 38,7% em média, sobrando 61,3% como resíduos de madeira (KONOLSAISEN, 2013). Os resíduos na forma de serragem são utilizados por criadores de aves e resíduos maiores em

caldeiras para gerarem energia para as operações em geral. As madeiras tratadas utilizadas usualmente na indústria madeireira para móveis e outros utensílios de madeira também podem ser reaproveitadas, necessitando um processamento de moagem para redução do material em partículas (CAETANO; SELBACH, GOMES, 2016).

Tabela 1 – Dados sobre madeira plástica, materiais e aplicação.

Material	Aplicação	Comentários	Referência
PET - Serragem (<i>Anogeissus leiocarpus</i>)	Painéis de WPC	Extrusão 270°C, injeção 170-200°C	Oladejo et al. (2017)
PEAD - Serragem (<i>pinus pinaster</i>) - anidrido maleico/am	Painéis de WPC	Prensagem a quente (2,5 MPa) a 180°C por 8 min e prensagem a frio diminuindo a T até 25 °C (12 min)	Mbarek et al, (2010)
PP (virgem/v - reciclado/r) - Serragem (<i>pine flour</i>) 0.2 a 0.5 mm - anidrido maleico/am	Testes propriedades WPC	Extrusão 186-190°C	Bhaskar; Haq; Yadav (2011)
PP - Serragem (pinheiro) anidrido maleico/am - Nanopartículas de Argila	Testes propriedades WPC com argila	Injeção 170-220-200°C (início-bicomolde)	Yadav; Yusoh (2015)
PEAD - fibras (<i>Pinus taiwanensis</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Phyllostachys makinoi</i> , <i>Cunninghamia lanceolata</i>)	Testes propriedades WPC com fibras asiáticas	Prensagem a quente (2,5 MPa) a 180°C por 8 min e prensagem a frio diminuindo a T até 25 °C (12 min)	Hung et al. (2017)
Lã mineral reciclada, Fibra de madeira, PP, Anidrido maleico, Agente lubrificante, agente silano	Testes propriedades WPC com lã mineral	Material homogeneizado previamente, resistência à flexão diminui com acréscimo de lã mineral, material extrudado	Väntsi (2015)
Serragem (<i>Pinus sylvestris</i>), zeolite, PP, anidrido maleico/am	Testes propriedades WPC com zeolite	Material extrudado (175-190°C) e injetado (180°C)	Kaymakci et al, (2017)
PP (virgem/v e reciclado/r), Casca arroz, Serragem, Corante (painéis externos prédio)	Blocos de WPC construção civil	Material extrudado (175-190°C), painéis expostos a radiação UV	Zaini et al (2016)
PP (virgem/v - reciclado/r) - Serragem (<i>pine flour</i>) 0.2 a 0.5 mm - anidrido maleico/am	Testes propriedades WPC	Extrusão 186-190°C, MEV mostra boa adesão com uso de anidrido maleico	Bhaskar et al. (2012)
PEAD, Serragem (pinheiro), 0.25 a 0.43 mm, tratamento deslignificação	Testes propriedades WPC sem lignina	Material extrudado (180°C) e injetado (190°C), deslignificado/cloreto de sódio/ácido acético (AA)	Chen et al. (2014)
PP, Serragem (pinheiro), PRIEX agente acoplamento	Testes propriedades WPC com aglomerante	Material extrudado em tábuas, agente de acoplamento melhora propriedades	Byk (2018)
PEBD, PEAD, PET, Serragem (sumaúma)	Testes propriedades WPC perfil tábuas	Material de sachês/água, containeres, garrafas/água, separados e utilizados com serragem 0-0.5, 0.5-1.0, 1.0-2.0 mm	Oluyege et al. (2017)
PEAD, Serragem (<i>Paraserianthes falcataria</i>)	Placas de WPC	Material extrudado em tábuas	Arandha et al. (2017)
PP, Serragem (<i>Pinus taeda e elliotti</i>)	Testes propriedades WPC sem aditivos	Material extrudado duas vezes e depois injetados corpos de prova	Battistelle et al. (2014)



Especificamente no Brasil, os termoplásticos mais utilizados na fabricação de madeira plástica normalmente apresentam uma identificação em seus rótulos e não liberam gases tóxicos em seu

processamento posterior (OLIVEIRA; OLIVEIRA; COSTA, 2013). Dentre os quais são usados os seguintes, informados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tipos de termoplásticos, utilização corriqueira e símbolo de reciclagem segundo ABNT NBR 13230/1994.

TERMOPLÁSTICO	UTILIZAÇÃO	SÍMBOLO
PET: Politereftalato de Etileno	embalagens de refrigerantes, óleos comestíveis, sucos e alguns produtos de limpeza	 PET
PEAD: Polietileno de Alta Densidade	garrafas de álcool, vinagre, produtos químicos e de higiene e na confecção de engradados de cervejas em geral	 PEAD
PVC: Policloreto de Vinila	calçados, tubos e conexões hidráulicos e na parte externa de cabos elétricos	 PVC
PEBD: Polietileno de Baixa Densidade	embalagens de alimentos, sacos industriais e de lixo	 PEBD
PP: Polipropileno	potes de margarina, tampas de garrafas diversas, produtos químicos e de higiene e seringas descartáveis	 PP

5. PRODUÇÃO DE MADEIRA PLÁSTICA

O plástico é uma história de sucesso global apresentando crescimento contínuo por mais de 50 anos, como pode ser visto na Figura 2. A produção de plástico pulou de

1,5 milhões de toneladas, em 1950, para 322 milhões de toneladas, em 2015, e neste mesmo ano, a produção global de plástico cresceu 3,4% comparado com 2014. A taxa média de crescimento de 1950 a 2015 foi de 8,6% ao ano (PLASTICS EUROPE, 2018).

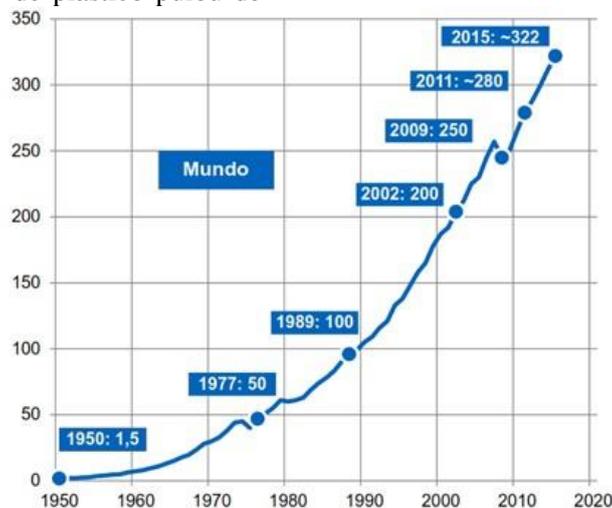


Figura 2 – Evolução mundial da produção de plásticos de 1950 a 2015 em milhões de toneladas. Fonte: (Adaptado de PLASTICS EUROPE, 2017).

A China liderava com 28% a produção global de plásticos, em 2015, mencionada na Figura 3, apresentando na sequência NAFTA (*North America Free Trade Area*) com 19% em segundo lugar, Europa com 18% vem em terceiro lugar,

seguida pelos demais países da Ásia com 17%, Oriente Médio e África com 7%, América Latina e Japão com 4% e CEI (Comunidade dos Estados Independentes) com 3%.

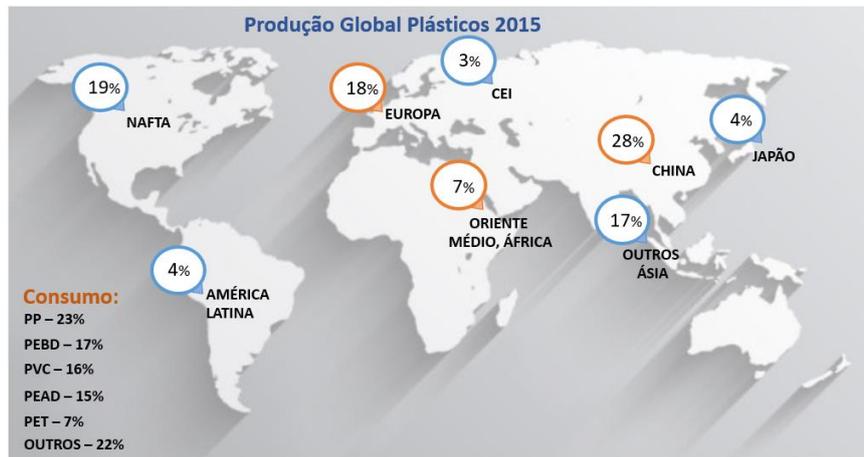


Figura 3 – Produção global de plásticos e consumo. Fonte: (Adaptado de PRIORITY METRICS GROUP, 2018).

Em 1989, a produção global de plásticos ultrapassava a produção de aço. A produção global de aço em 2015 foi de 203 bilhões de litros enquanto a produção de plásticos atingiu 322 bilhões de litros. A comparação de produção se refere a litros em função de que o aço tem uma densidade oito vezes maior que o plástico. Os polímeros de alta performance representam menos de 1% deste mercado, enquanto os plásticos de engenharia estão ao redor de 10%. Os termoplásticos padrões representam 70% do mercado, com liderança do PE (Polietileno) com 34%, PP (Polipropileno) com 24,2%. Na Europa nove países atingiram um índice de recuperação de mais de 95% dos resíduos de plástico pós-consumo (Suíça, Áustria, Holanda, Alemanha, Suécia, Luxemburgo, Dinamarca, Bélgica e Noruega). Estes países apresentam restrições a aterros sanitários para depósito de seus Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Também seis desses países estão entre os 11 países com as maiores taxas de reciclagem (> 30%). Portanto, não descartar o material em aterros aumenta as economias de recuperação, 69,2% em média na Europa, e proporciona taxas de reciclagem mais altas (PLASTICS EUROPE, 2018).

Após mais de 30 anos de desenvolvimento do mercado, em 2010, a produção de madeira plástica global atingiu 1,47 milhão de toneladas, o que significa, com uma parcela média de madeira de 50% em sua composição, 735 mil toneladas de madeira - o que ainda é apenas um fragmento do total mercado global de madeira, conforme a Tabela 3. Dados do ITTO (*INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION*) em 2010 mostram que a produção mundial de madeira foi de 124,80 milhões de toneladas (141,40 milhões m³), sendo que a parte de madeira utilizada na produção de madeira plástica corresponde a apenas 0,50 % da produção global de madeira, o que mostra o grande potencial ainda a ser explorado (ITTO, 2018).

No Brasil, os principais termoplásticos são utilizados em Construção Civil (25,2%), Alimentos (18,6%), Artigos de comércio em atacado e varejo (10,0%), Automóveis e Autopeças (7,7%), Bebidas (5,9%), Produtos de Metal (5,7%), Máquinas e Equipamentos (5,7%), (Móveis 4,6%), Perfumaria, Higiene e Limpeza (3,1%), Papel, Celulose e impressão (3,0%), Agricultura (2,8%), Químicos (2,4%), Eletrônicos (2,2%) Têxteis e Vestuários



(0,9%), Farmacêutico (0,8%), Outros e Equipamentos de Transportes (0,6%) e Outros (0,7%) (ABIPLAST, 2017). Atualmente, os polímeros mais utilizados no setor de embalagens (considerados

commodities) são: polietileno (PE), polipropileno (PP), poli tereftalato de etileno (PET), policrotoleto de vinila (PVC) e poliestireno (PS) (SINDIPLAST, 2018).

Tabela 3 – Mercado global de madeira plástica em 2010 e projeção para 2015.

MERCADO	2010	2015	CRESCIMENTO ANUAL (%)	MERCADO GLOBAL (%)
América do Norte	900000	1300000	8	47
China	300000	900000	25	32
Europa	150000	250000	11	9
Japão	60000	120000	15	4
Rússia	10000	70000	48	3
Sudeste Asiático	30000	55000	13	2
América do Sul	10000	50000	38	2
Índia	5000	40000	52	1
Total	1465000	2785000	210	100

Fonte: (CARUS; EDER, 2015)

A produção de resinas termoplásticas tem aumentado significativamente no Brasil. O consumo aparente (que representa a soma do volume de produção com importações menos o volume exportado) de resinas termoplásticas, no Brasil, tem evoluído ao longo dos últimos anos a uma taxa de aproximadamente 4,7% ao ano (PETROQUÍMICA, 2017). Isso é devido, em grande parte, pelo crescimento da economia brasileira, melhor distribuição de renda e maior poder de consumo das classes C, D e E. Considerando apenas o mercado de resinas (PE, PP, PVC), o potencial de crescimento no consumo de plástico do mercado brasileiro pode ser observado quando comparado com o consumo em países desenvolvidos, como nos EUA onde o consumo de resinas, em 2011, foi de cerca de 66 kg por habitante enquanto, no Brasil, foi de 25 kg por habitante. Desde o plano real e o início da estabilização econômica no Brasil, o consumo de resinas vem subindo de forma significativa (ZOCH, 2013; ALMEIDA, 2013).

O sul do Estado de Minas Gerais terá a primeira usina do país com geração de energia elétrica a partir do lixo, o projeto é pioneiro no Brasil e irá utilizar resíduos

sólidos como combustível para fomentar uma nova tecnologia com menores taxas de emissão de poluentes. A planta será construída em Boa Esperança/MG, sendo controlado por Furnas Centrais Elétricas. Trata-se de um projeto que usa a tecnologia de gaseificação, que é bastante diferente da incineração. A taxa de poluentes neste caso é muito baixa, é uma tecnologia que permite utilizar todos os resíduos sólidos em geral e, pelo gás produzido, gerar a energia elétrica (SOARES; SILVA, 2017).

6. APLICAÇÃO DA MADEIRA PLÁSTICA

Um dos desafios da aplicação da madeira plástica depende da melhoria do desempenho físico e mecânico. Outra questão é a absorção de água na parte da madeira, um problema que reduz parcialmente a rigidez devido as intempéries ambientais. A madeira plástica é majoritariamente produzida em todo o mundo na forma de placas ocas ou sólidas para decks em geral e substitui predominantemente a madeira, que existe em maior abundância e é em geral proveniente de áreas tropicais. Todavia, o uso da madeira plástica vai depender do tipo de material usado em sua fabricação. A

Tabela 4 apresenta uma série de tipos de madeira plástica e suas características após a fabricação.

O mercado mais antigo pode ser encontrado na América do Norte e na Europa, onde algumas grandes empresas participam do mercado, tais como a IKEA.

O uso de resíduos de fibra de madeira torna os produtos de plástico mais fortes e menos dispendiosos, permitindo colocar os resíduos em bom uso (BRASKEN, 2017). A Figura 4 apresenta exemplos de produtos produzidos com a utilização de madeira plástica.

Tabela 4 – Uso de madeira plástica em várias aplicações.

PLÁSTICO	MATERIAL	CARACTERÍSTICAS	REFERÊNCIA
Serragem			
PET	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	Alta resistência e rigidez, durabilidade, baixo custo de manutenção, preços acessíveis, ecologicamente correta.	(OLADEJO et al., 2017)
PEAD	<i>pinus pinaster</i> + anidrido maleico	Significativa relação custo-benefício e propriedades mecânicas.	(MBAREK et al., 2010)
PP (virgem/v - reciclado/r)	<i>pine flour</i> + anidrido maleico	O PP reciclado tem estabilidade dimensional comparável ao PP virgem, as propriedades de tração e flexão são equivalentes, o anidrido maleico melhora a adesividade.	(BHASKAR; HAQ; YADAV, 2011)
PP	Pinheiro - anidrido maleico/am - Nanopartículas de Argila	Baixa densidade, baixo custo, renovabilidade e reciclabilidade, propriedades mecânicas favoráveis, adição 5% nanopartículas de argila melhoram propriedades mecânicas.	(YADAV; YUSOH, 2015)
PP	<i>Pinus sylvestris</i> , zeolite, anidrido maleico/am	Possível fabricar formas mais complexas do que com produtos de madeira maciça, com um rendimento de matéria-prima próximo de 100%, WPCs são uma alternativa competitiva às madeiras de lei tropicais e consideram-se que requerem menos manutenção que os produtos de madeira convencionais.	(KAYMAKCI et al., 2017)
PP	<i>Pinus taeda e ellioti</i>	A inclusão de serragem proporcionou a obtenção de compósitos com boas características mecânicas que podem ser aplicados na fabricação de diferentes materiais, empregados especificamente em ambientes externos.	(BATTISTELLE et al., 2014)
PP (virgem/v e reciclado/r),	Casca arroz, Corante (painéis externos prédio)	Uso de WPC na construção civil é necessário devido ao Sistema de Edifícios Industrializados (IBS) na Malásia, melhor controle de recursos materiais e custos, sustentabilidade. WPC material verde devido ao uso de materiais reciclados em sua composição.	(ZAINI et al., 2016)
PP (virgem/v - reciclado/r)	<i>pine flour</i> . 0.2 a 0.5 mm - anidrido maleico/am	Baixo custo de manutenção, fabricação com resíduos da indústria moveleira ou da madeira e plásticos reciclados descartados no meio ambiente, redução de impacto ambiental, alta estabilidade dimensional quando injetado/extrudado.	(BHASKAR et al., 2012)
PEAD	pinheiro, 0.25 a 0.43 mm, tratamento deslignificação	WPCs têm vantagens ambientais e econômicas, baixa densidade, baixa abrasão e baixo custo de material em comparação com as fibras de vidro convencionais e outros materiais inorgânicos.	(CHEN et al., 2014)
PP	pinheiro, PRIEX agente acoplamento	WPC não sofre corrosão, resiste bem a podridão, decomposição e a salinidade marinha.	(BYK, 2018)
PEBD, PEAD, PET	Sumaúma	WPC conformado em qualquer forma, tamanho, desenho ou qualidade, dependendo do uso final pretendido, é renovável/ecológico, o avanço tecnológico leva a custos reduzidos, melhor desempenho, novos produtos, reciclagem de material e maior sensibilidade ambiental.	(OLUYEGE et al., 2017)

PEAD	<i>Paraserianthes falcataria</i>	Produtos de WPC apresentam uma vida longa, sequestra carbono atmosférico gerando impacto ambiental positivo, madeira é usada misturada a plásticos de forma a reduzir o preço em comparação com um produto plástico sólido.	(ARNANDHA et al., 2017)
Fibra			
PEAD	<i>Pinus taiwanensis</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Phyllostachys makinoi</i> , <i>Cunninghamia lanceolata</i>)	Redução da degradação externa pelo tempo e biológica em relação à madeira, melhorias nas propriedades de flexão e resistência, menor custo, menor desgaste de equipamentos de produção e menor manutenção, produto ambientalmente amigável.	(HUNG et al., 2017)
PP	Lã mineral reciclada, anidrido maleico, agente lubrificante, agente silano	Vantagens econômicas utilizando materiais reciclados, WPCs materiais ecologicamente corretos comparados aos compósitos poliméricos tradicionais, redução da dependência de fontes não renováveis de energia e materiais, menores emissões de poluentes, menores emissões de gases do efeito estufa e recuperação de energia, biodegradabilidade de alguns componentes.	(VÄNTSI, 2015)



Cadeira em madeira plástica. Fonte: (www.ikea.com)



Banco de jardim em madeira plástica. Fonte: (www.inbrasil.ind.br)



Dormentes em madeira plástica. Fonte: (www.wise.eco.br)



Deck modular em madeira plástica. Fonte: (www.madeplast.com.br)

Figura 4 – Artigos manufaturados com madeira plástica. Fonte: (www.ikea.com, www.inbrasil.ind.br, www.wise.eco.br, www.madeplast.com.br).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O plástico atualmente representa um grande problema ambiental, pois poluiu e ainda polui praticamente todos ecossistemas mundiais. Por outro lado, a madeira plástica representa uma alternativa viável por estender a vida útil do plástico e por utilizar resíduos da indústria madeireira, dentre outros. Essa afirmação é corroborada pelos dados do mercado mundial que já

comercializa a madeira plástica na forma de diversos produtos. Deve ser destacado a China e Estados Unidos da América cuja produção e consumo de madeira plástica permite afirmar a viabilidade do seu uso. Notou-se que a madeira plástica pode ser produzida por diversos materiais, basta para isso ter resíduos de madeira (como serragem e fibras) e um termoplástico (como PP, PET, PEAD). A versatilidade na produção tem tornado a madeira plástica uma ótima opção para a redução da disseminação do plástico no



Biotecnologia

ambiente e aumentar a vida útil de aterros sanitários. Dependendo da aplicação, a madeira plástica possibilita o uso do plástico por vários anos, aumentando o ciclo de vida de produtos oriundos de um importante passivo ambiental.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. Perfil 2017. Acesso em 25/03/2018. Disponível em <<http://file.abiplast.org.br/file/download/2018/Perfil-2017.pdf>>

ALMEIDA, A. B. MADEIRA PLÁSTICA: ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO E ECONÔMICO A PARTIR DO RESÍDUO SÓLIDO. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. UFRGS, 2013.

ARNANDHA, Y.; SATYARNO, Y.; AWALUDIN, A.; IRAWATI, I. S.; PRASETYA, Y.; PRAYITNO, D. A.; WINATA, D. C.; SATRIO, M. H.; AMALIA, A. Physical and Mechanical properties of WPC board from sengon sawdust and recycled HDPE plastic. *Procedia Engineering* 171 (2017) 695-704, 2017.

BADR, N. M.; ALI, M. F.; EL HADIDI, N. M. N.; NAEEM, G. A. Identification of materials used in a wooden coffin lid covered with composite layers dating back to the Ptolemaic period in Egypt. *ARP - Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal. Conservar Património* xx (xxxx) 1-13, <https://doi.org/10.14568/cp2017029>, 2018.

BHASKAR, J.; HAQ, S.; PANDEY, A. K.; SRIVASTAVA, N. Evaluation of properties of propylene-pine wood Plastic composite. *J.*

Mater. Environ. Sci. 3 (3) (2012) 605-612, 2012.

BHASKAR, J.; HAQ, S.; YADAV, S. B. Evaluation and testing of mechanical properties of wood plastic composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 25(4) 391-401, 2011.

BORENSTAIN, M. B. COMPÓSITO PLÁSTICO-MADEIRA PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE Pinus, Eucalyptus E POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD). Monografia Graduação Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa, 2014.

BRASIL, A. P. M. D. S. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA AMAZÔNIA PARAENSE: UM ESTUDO SOBRE O MUNICÍPIO DE BARCARENA (1897-2017). Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências e Tecnologia "Júlio de Mesquita Filho". Presidente Prudente, 2017.

BRASKEN. Braskem lança novo conceito de resina reciclada no evento internacional Sustainable Brands. 2017. Acesso em 18/09/2018. Disponível em <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-lanca-novo-conceito-de-resina-reciclada-no-evento-internacional-sustainable-brands>>

BRIGANTE, D. *New Composite Materials - Selection, Design, and Application*. Springer, Nápoles, 2014.

BYK Additives and Instruments. *Wood plastic composites - Addcomp* Holland, 2018.

CAETANO, M. O.; SELBACH, J. B. O.; GOMES, L. P. Composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 51-67, abr./jun. 2016.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução - 9ª Ed.* LTC, 2016.

CARDARELLI, F. *Materials Handbook: A Concise Desktop Reference*. Springer, 2018.

CARUS, M.; EDER, A. *WPC/NFC Market Study. 2015 nova-Institut GmbH*, Version 2015.

CHEN, Y.; STARK, N. M.; TSHABALALA, M. A.; GAO, J.; FAN, Y. Properties of wood-plastic composites (WPCs) reinforced with extracted



Biotecnologia

and delignified wood flour. DE GRUYTER, DOI 10.1515/hf-2013-0175, Holzforschung, 2014.

DAC, H. D. Wood plastic composite – a brief history. Plastic & Rubber Sales Representative at BRENNTAG ASIA PACIFIC, 2016.

HILIG, E. Viabilidade técnica de produção de compósitos de polietileno (HDPE) reforçados com resíduo de madeira e derivados das indústrias moveleiras. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 2013.

HUNG, K. C.; YEH, H.; YANG, T. C.; WU, T. L.; XU, J. W.; WU, J. H. Characterization of Wood-Plastic Composites Made with Different Lignocellulosic Materials that Vary in Their Morphology, Chemical Composition and Thermal Stability. *Polymers* 2017, 9, 726; doi:10.3390/polym9120726, 2017.

IKEA. ODGER Chair. Acesso em 20/03/2018. Disponível em <<https://www.ikea.com/us/en/catalog/products/00360002/>>

INBRASIL. Banco de Jardim Madeira Plástica 93cm. Acesso em 20/03/2018. Disponível em <<http://www.inbrasil.ind.br/produto/banco-de-jardim-madeira-plastica-com-encosto-93cm/>>

ITTO. INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. Acesso em 21/02/2018. Disponível em <https://www.itto.int/news_releases/id=5195>

KAYMAKCI, A.; GULEC, T.; HOSSEINIHASHEMI, S. K.; AYRILMIS, N. PHYSICAL, MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF WOOD/ ZEOLITE/PLASTIC HYBRID COMPOSITES. *Maderas. Ciencia y tecnología* 19(3): 339 - 348, 2017.

KLYOSOV, A. A. Wood-Plastic Composites. John Wiley & Sons, Inc., 2007.

KONOLSAISEN, G. J. ANÁLISE DOS CUSTOS PARA ADEQUAÇÃO DE SERRAS CIRCULARES EM MADEIREIRAS NO PARANÁ. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Programa de Pós-graduação em Segurança do Trabalho, 2013.

MACIEL JÚNIOR, R. P. INFLUÊNCIA DE CARGAS DE REFORÇO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA. Monografia Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Ceará, 2017.

MADEPLAST. Acesso em 20/03/2018. Disponível em <<https://www.madeplast.com.br/deck-modular>>

MARTINEZ, R. T. DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS A PARTIR DE POLIPROPILENO RECICLADO, RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU E CARBONATO DE CÁLCIO. Dissertação (Mestrado em Engenharia de materiais). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.

MBAREK, T.; ROBERT, L.; HUGOT, F.; ORTEU, J. J.; SAMMOUDA, H.; GRACIAA, A.; CHARRIER, B. Study of Wood Plastic Composites elastic behaviour using full field measurements. *EPJ Web of Conferences* 6, 28005, 2010.

MESQUITA, J. L. Reciclagem do plástico, um drama da nossa geração. O Estadão. Edição de 20 de fevereiro de 2018.

MORASSI, O. J. Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros. Conselho Regional de Química IV Região (SP), 2013.

NAZÁRIO, G. F.; SILVA, V. C.; ROCHA, A. H. S.; RODRIGUES, F. R.; LIMA, F. P. A. MADEIRA PLÁSTICA: UMA REVISÃO CONCEITUAL. *Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 01, n. 01, p. 54-71, out./dez., 2016.*

OLADEJO, K. O.; OMONIYI, T. E. Dimensional Stability and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites Produced from Sawdust of *Anogeissus leiocarpus* (Ayin) with Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Chips. *European Journal of Applied Engineering and Scientific Research*, 5 (1): 28-33, 2017.

OLIVEIRA, E. M. R.; OLIVEIRA, E. M. R.; COSTA, R. A. Dossiê Técnico - Madeira Plástica. Instituto Euvaldo Lodi. IEL/BA, 2013.

OLUYEGE A. O.; EKONG, A. A.; AGUDA L.O.; OGUNLEYE B.M.; ABIOLA J.K.; OLAYIWOLA, Y.B. PHYSICAL AND MECHANICAL



Biotecnologia

PROPERTIES OF WOOD PLASTIC COMPOSITES PRODUCED FROM SAWDUST OF *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. AND PLASTIC WASTES. *Journal of Forestry Research and Management*. Vol. 14 (2), 95-112; 2017.

PAULA, R.M.; COSTA, D.L. Madeira plástica: aliando tecnologia e sustentabilidade. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, 2008.

PETROQUÍMICA. Petroquímica no Brasil. 2017. Acesso em 18/09/2018. Disponível em <
<https://petroquimica2017.wordpress.com/2017/10/16/petroquimica-no-brasil/>>

PINHO, P. M. Avaliação dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos na Amazônia Brasileira. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

PLASTICS EUROPE. World Plastics Production 1950 –2015. Plastics Europe Market Research Group (PEMRG) / Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH, 2018.

PRIORITY METRICS GROUP. Plastics Global. www.pmgco.com, 2018.

REINALDO, J. S. PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA BLENDAS POLI(METACRILATO DE METILA) (PMMA) ELASTOMÉRICO E POLI(TEREFTALATO DE ETILENO) (PET) PÓS-CONSUMO. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

SCHWARZKOPF, M. J; BURNARD, M.D.. Wood-Plastic Composites—Performance and Environmental Impacts. *Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts*, Environmental Footprints

and Eco-design of Products and Processes, DOI 10.1007/978-981-10-0655-5_2, Springer Science+Business Media Singapore, 2016.

SINDIPLAST – Sindicato da Indústria de Material Plástico, Transformação e Reciclagem de Material Plástico do Estado de São Paulo. Os Plásticos. 2018. Acesso em 28/03/2018. Disponível em <
<http://www.sindiplast.org.br/site/os-plasticos>>

SOARES, L.; SILVA, S. Sul de Minas terá 1ª usina do país com geração de energia elétrica a partir do lixo. *G1 Globo*. 18/04/2017, 2017.

VÄNTSI, O. UTILIZATION OF RECYCLED MINERAL WOOL AS FILLER IN WOOD PLASTIC COMPOSITES. Thesis for the degree of Doctor of Science. Lappeenranta University of Technology. Finland, 2015.

YADAV, M. Y.; YUSOH, K. B. MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF WOOD-PLASTIC COMPOSITES MADE OF POLYPROPYLENE, WOOD FLOUR AND NANOCCLAY. Kuala Lumpur International Agriculture, Forestry and Plantation. September 12 - 13, 2015

WISEWOOD. Acesso em 20/03/2018. Disponível em <
<http://wise.eco.br/dormentes.php>>

ZAINI, A. S. S. M.; RUS, A. Z. M.; RAHMAN, N. A.; JAIS, F. H. M.; FAUZAN, M. Z.; SUFIAN, N. A. Mechanical Properties Evaluation of Extruded Wood Polymer Composites. 4th International Conference on the Advancement of Materials and Nanotechnology (ICAMN IV), 2016.

ZOCH, V. P. Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando Resíduos Minimamente Processados. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília, 2013.