ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO E SEU USO NA CONSTRUÇÃO DE DECKS EM SUBSTITUIÇÃO ÀS MADEIRAS NATURAIS: UMA REVISÃO



SANTOS, Anderson Ravik
(anderson.ravik@aluno.ufop.edu.br)
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil

SILVA, Tiago Vieira
(tiago.vs@aluno.ufop.edu.br)
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil

SALOMÃO, Manoel Otávio Quaresma
(manoel.salomao@aluno.ufop.edu.br)
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil

PATRÍCIO, Patrícia Santiago de Oliveira
(patriciaspatricio@des.cefetmg.br)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET), Brasil

FONTES, Wanna Carvalho
(wanna.fontes@ufop.edu.b)
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Brasil

PALAVRAS-CHAVE:

Material Compósito, Ecoeficiência, Madeira-Plástico, Madeira Natural, Construção Civil.

RESUMO

Os Compósitos Madeira-Plástico (CMP) possuem uma matriz polimérica e uma carga de enchimento formada por resíduos de madeira ou outro material fibroso. O presente trabalho compreende uma revisão de literatura dos CMP, realizada utilizando o método *Systematic Search Flow*. Esta revisão objetiva identificar e analisar, em pesquisas recentes, as propriedades e processos de produção de CMP, visando avaliar o potencial de seu uso em Decks. Os materiais componentes, processos de produção e propriedades mecânicas foram descritos e discutidos de forma abrangente. O Polipropileno e resíduos de madeira são os materiais mais aplicados como matriz polimérica e carga nos CMP, respectivamente. Os processos de extrusão e moldagem por injeção são os mais amplamente utilizados na produção dos CMP à base de termoplásticos. O *hand lay-up* é o processo mais utilizado para CMP à base de termofixos. Alguns CMP apresentam, separadamente, propriedades mecânicas equivalentes ou superiores às madeiras naturais. Os CPM representam assim, uma ótima alternativa para solucionar o problema da poluição de resíduos plásticos. Ao mesmo tempo, contribuem para a diminuição da exploração de madeiras naturais para fins construtivos, como é o caso dos decks.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas enfrentados para se alcançar o desenvolvimento sustentável é a alta taxa de exploração de recursos naturais e geração de resíduos sólidos. Neste contexto, o excesso de produção e consumo de plástico tem sérias consequências para o ambiente e a saúde humana (HEIDBREDER *et al.*, 2019). No cenário brasileiro, esta alta taxa de consumo pode ser observada: em 2019 foram consumidos no país 7,6 milhões de toneladas do material, como aponta relatório da Abiplast (2020). Composto por substâncias orgânicas e sintéticas, o plástico exige longos prazos de degradação, e por isso são potenciais poluidores de ecossistemas aquáticos e terrestres (ESCOCARD et al., 2018). Como aponta Portela Junior *et al.* (2019), reciclar o plástico é uma das principais formas de reduzir este impacto, sendo uma nova alternativa de reciclagem o Compósito Madeira-Plástico.

Um material compósito possui dois ou mais constituintes diferentes. A matriz é a fase contínua que dá forma ao compósito, enquanto a carga de reforço ou enchimento é adicionada para aumentar a resistência mecânica e a rigidez da matriz (CARDARELLI, 2018; PRITCHARD, 2004). Para matrizes formadas por polímeros, os reforços típicos destes materiais são caros e pesados, como a fibra de vidro e minerais, enquanto a fibra de madeira pode trazer um ganho de resistência sem aumentar muito a densidade (NAGHIPOUR *et al.*, 2011).

No que se refere ao CMP, a matriz pode ser constituída de diversos polímeros recicláveis, como o polipropileno, polietileno e espuma de poliestireno (CHUN *et al.*, 2019). Estes polímeros são incorporados com a carga de enchimento ou reforço, constituída geralmente por resíduos de madeira (BASALP *et al.*, 2020). Entretanto, outros materiais celulósicos podem ser utilizados como carga, como é o caso da fibra de coco, bambu ou casca de arroz (OJHA; RAGHAVENDRA; ACHARYA, 2014; TAN *et al.*, 2011; ZAINI *et al.*, 2017). O CMP também contribui com a redução do corte de árvores e substitui suas aplicações, isso porquê apresenta propriedades iguais ou superiores às da madeira natural (CHEN *et al.*, 2020; HUANG *et al.*, 2018).

Compósitos Madeira-Plástico, quando comparados à madeira natural, apresentam ainda vantagens associadas à maior resistência a pragas e fungos, intempéries, requerem menos manutenção, não deformam, não encolhem nem expandem. Não só podem ser reciclados, mas também podem ser inteiramente feitos de materiais reciclados. Além disso, o atributo de moldagem dos polímeros expande as áreas de aplicação do CMP em perfis de diferentes formatos (RIZVI; SEMERALUL, 2008). Estes formatos vão de materiais de construção retilíneos até formas orgânicas que podem ser utilizados tanto em ambientes internos, quanto externos (SMITH; WOLCOTT, 2006). Decks e peças internas automotivas são os setores de aplicação mais importantes para CMP, seguidos por tapumes e cercas (CARUS *et al.*, 2015).

Revisões abrangentes acerca dos CMP podem ser encontradas na literatura (KHAN; SRIVASTAVA; GUPTA, 2020; KIELING; SANTANA; DOS SANTOS, 2019; NAZÁRIO et al., 2016; YADAV; LUBIS; SIHAG, 2021), mas não com foco em seu desempenho, visando seu uso na fabricação de decks em substituição ao perfilado de madeira natural. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é, por meio de uma revisão de literatura, identificar e analisar alguns aspectos dos CMP tais

como materiais, processos de produção e propriedades; bem como comparar suas propriedades com as de madeiras naturais utilizadas em decks destinados às obras de arte de engenharia.

2. MÉTODO DE REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura acerca dos compósitos madeira-plástico foi realizada utilizando o método de Ferenhof e Fernandes (2016) intitulado *Systematic Search Flow* (SSF). O método é dividido em quatro fases principais: Definição do Protocolo da Pesquisa, Análise, Síntese e Escrita. O Fluxograma apresentado na Figura 1 mostra como as quatro etapas do método SSF foram utilizadas para identificar os principais materiais, processos de fabricação e propriedades dos CMP, obtidas por meio de ensaios laboratoriais. De acordo com a Figura 1, a Fase 1 resultou no *download* de 72 artigos, dos quais 49 foram descartados, por estarem duplicados ou não apresentarem aderência à temática sob investigação. Os 23 artigos restantes foram selecionados para a etapa de leitura. A data de publicação dos artigos foi restrita de 2016 a 2021, visando priorizar os estudos mais recentes.

As propriedades dos CMP foram comparadas com as propriedades de alguns tipos de madeiras naturais que são convencionalmente utilizadas na construção civil para a fabricação de decks. Os dados a respeito das características das madeiras naturais foram obtidos por meio do Centro de Tecnologia de Recursos Florestais (CT-Floresta). O CT-Floresta faz parte do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo e atua em pesquisas e desenvolvimento no setor de recursos florestais. As principais informações das pesquisas, bem como uma comparação com as propriedades de madeiras naturais utilizadas na construção de decks são apresentadas a seguir.

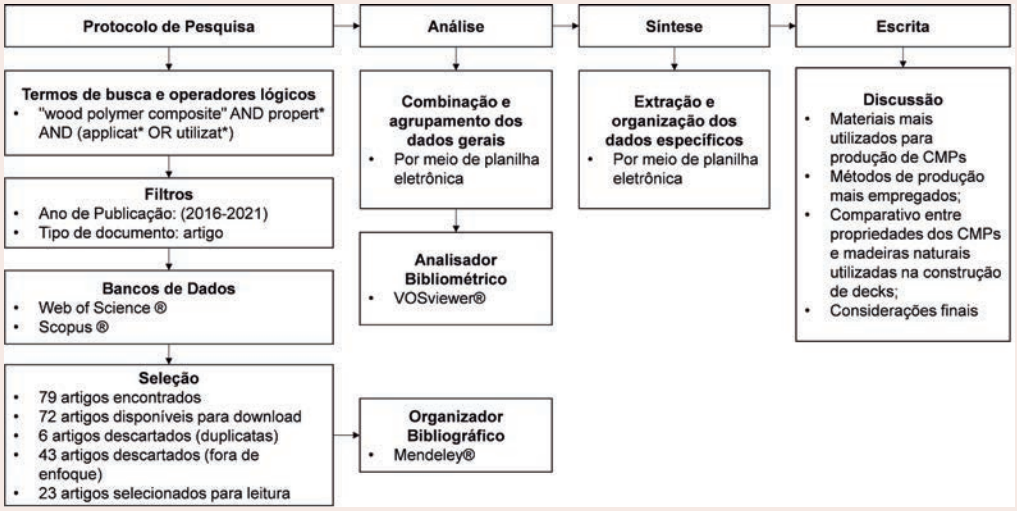


Figura 1. Etapas do processo de revisão da literatura pelo método SSF

3. DECKS DE MADEIRA NATURAL

Decks são peças de madeira retilíneas muito utilizadas em áreas externas (varandas, piscinas, sauna, terraços, spa e jardins). Além de possuir uma montagem prática, estas plataformas podem ser aplicadas diretamente sobre pisos, terra ou gramados (CABRAL *et al.*, 2016). As madeiras mais utilizadas para a fabricação de decks são as madeiras nobres Ipê e Itaúba. Estas madeiras precisam de um tratamento específico para diminuir os efeitos da umidade e apresentam resistência a cupins e ao apodrecimento (CABRAL *et al.*, 2016). Outras espécies de madeira utilizadas tipicamente em decks incluem Cumaru, Bankirai, Jatobá e Massaranduba (ERLANDSSON; KJELLOW; LAURENTI, 2018).

O Eucalipto, o Pinus e a Teca também podem ser utilizados na construção de decks rústicos (BLANCO-FLÓREZ *et al.*, 2015; GARRIDO, 2004; MALLET; KALYANASUNDARAM; EVANS, 2018). Em alguns casos, o eucalipto pode ser utilizado em conjunto com outra madeira nobre, como por exemplo decks em que as réguas são de Ipê, e os demais elementos (barrotes e vigas) são de Eucalipto (MOCELLIN; GAVASSONI, 2019). Por conta do alto tempo dedicado à instalação e manutenção (vedação, lixamento, pintura, etc.) as madeiras naturais começaram a dar espaço ao compósito madeira-plástico como substituto para construção de decks. Além das vantagens ambientais, as características da madeira plástica atendem perfeitamente aos requisitos para essas estruturas. Por conta da matriz polimérica, a madeira plástica se sobressai à convencional quando instalada em ambientes úmidos, além da vantagem econômica referente a gastos com manutenção (CABRAL *et al.*, 2016).

4. COMPONENTES DOS COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO

4.1 MATRIZ POLIMÉRICA

Em sua grande maioria, a matriz dos CMP é composta de polímeros termoplásticos, mas é possível que sejam utilizados também polímeros termofixos (ASHORI, 2008; CLEMONS, 2002; KHAN; SRIVASTAVA; GUPTA, 2020). De acordo com a revisão de literatura a matriz mais comum entre os CMP é composta por um termoplástico, o Polipropileno (PP) (BOCHKOV *et al.*, 2019; BÜTÜN *et al.*, 2018; ESKANDER; TAWFIK; TAWFIC, 2018; JAUNSLAVIETIS *et al.*, 2019; KAJAKS *et al.*, 2014; KALE *et al.*, 2017; KRAUSE *et al.*, 2018; KUSZELNICKA *et al.*, 2018; PHILIPP; KÖHLER, 2020; YADAV; YUSOH, 2016).

Outros termoplásticos que também se destacam são o Polietileno (PE) (MAZZANTI; MOLLICA, 2017) e suas variações (de baixa e alta densidade) (BARBOS *et al.*, 2020; HEJNA *et al.*, 2020, 2021; HÜNNEKENS *et al.*, 2016). A Resina Epóxi (RE), embora seja um termofixo, aparece significativamente (HE; LIU; DI, 2016; KHAN;

SRIVASTAVA; GUPTA, 2019; NAGAMADHU *et al.*, 2019; SAXENA; GUPTA, 2019). Outros plásticos encontrados foram o Poliácido Láctico (PLA) (CHITRA *et al.*, 2018; KAMAU-DEVERS; KORTUM; MILLER, 2019), Poliestireno Expandido (EPS) (ESKANDER; TAWFIK; TAWFIC, 2018), Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) (GIRDIS *et al.*, 2017), Policloreto de Vinila (PVC) (BAHARI; KRAUSE, 2016), Poliester (PL) (JAIN; GUPTA, 2018; VIMALANATHAN; VENKATESHWARAN; SANTHANAM, 2016) e Resina Fenólica (RF) (LETTE *et al.*, 2018).

O PP e PE também são destaque no estudo de Yadav *et al.* (2021), onde foram apontados como materiais de matriz mais comuns em CMP juntamente com o PVC. De modo semelhante, Renneckar *et al.* (2004) apontam como plásticos majoritariamente empregados em matrizes poliméricas o PE, o PP e as Poliolefinas. Por sua parte, o dossiê técnico elaborado por Oliveira *et al.* (2013) aponta como plásticos mais utilizados, além do PP e PE, o PVC e o Polietileno Tereftalato (PET). Além do preço dos dois principais termoplásticos (PP e PE) ser inferior ao de outros plásticos de engenharia, suas temperaturas de processamento são inferiores a 200° C. Esta é uma característica crucial para a matriz polimérica, visto que a carga, quando derivada da madeira, pode ser queimada se exposta a temperaturas de processamento maiores que 200° C (GWON; LEE; KIM, 2014; YADAV; LUBIS; SIHAG, 2021).

4.2 CARGAS

Partículas de madeira, sejam em forma de pó ou fibra, compreendem a maneira mais tradicional de compor a carga de enchimento e reforço dos CMP (BARBOS *et al.*, 2020; CHITRA *et al.*, 2018; HE; LIU; DI, 2016; HEJNA *et al.*, 2021; HÜNNEKENS *et al.*, 2016; JAIN; GUPTA, 2018; JAUNSLAVIETIS *et al.*, 2019; KALE *et al.*, 2017; KAMAU-DEVERS; KORTUM; MILLER, 2019; KHAN; SRIVASTAVA; GUPTA, 2019; KRAUSE *et al.*, 2018; KUSZELNICKA *et al.*, 2018; LETTE *et al.*, 2018; MANDAL *et al.*, 2020; MAZZANTI; MOLLICA, 2017; MAZZANTI *et al.*, 2020; NAGAMADHU *et al.*, 2019; SAUERBIER; KÖHLER, 2020; SAXENA; GUPTA, 2019; VIMALANATHAN; VENKATESHWARAN; SANTHANAM, 2016; YADAV; YUSOH, 2016).

A fibra de madeira é geralmente incorporada à matriz polimérica visando reduzir o custo geral do CMP ao mesmo tempo em que melhora certas propriedades mecânicas (ZHANG; CUI; ZHANG, 2013). Ainda assim, outros materiais fibrosos de origem vegetal que não madeira, são empregados como carga, tais como fibras de casca de noz (GIRDIS *et al.*, 2017), palha de arroz (ESKANDER; TAWFIK; TAWFIC, 2018), pele de café (HEJNA *et al.*, 2021), grãos de cervejaria (HEJNA *et al.*, 2021), farelo de trigo (HEJNA *et al.*, 2020), casca de aveia (BOCHKOV *et al.*, 2019) e fibras recicladas dos próprios compósitos (KRAUSE *et al.*, 2018).

5. MÉTODOS DE PRODUÇÃO

Entre as pesquisas mais recentes, a revisão de literatura apontou a extrusão como o método de produção de amostras de CMP mais utilizado (BARBOS *et al.*, 2020; BOCHKOV *et al.*, 2019; BÜTÜN *et al.*, 2018; CHITRA *et al.*, 2018; ESKANDER; TAWFIK; TAWFIC, 2018; GIRDIS *et al.*, 2017; HEJNA *et al.*, 2020; HÜNNEKENS *et al.*, 2016; JAUNSLAVIETIS *et al.*, 2019; KALE *et al.*, 2017; KRAUSE *et al.*, 2018; KUSZELNICKA *et al.*, 2018; MAZZANTI; MOLLICA, 2017; MAZZANTI *et al.*, 2020; SAUERBIER; KÖHLER, 2020; YADAV; YUSOH, 2016; ZAINI *et al.*, 2017).

Yadav *et al.* (2021) também consideram a extrusão como o principal processo no sistema de fabricação dos compósitos. O objetivo principal do processo de extrusão é fundir o polímero e misturá-lo com a carga e os aditivos. Ao mesmo tempo, o material é forçado de forma contínua através de uma matriz (GARDNER; HAN; WANG, 2015). Os métodos de moldagem por injeção e moldagem por compressão também figuram nas pesquisas, porém em menor ocorrência (ESKANDER; TAWFIK; TAWFIC, 2018; HEJNA *et al.*, 2021; HÜNNEKENS *et al.*, 2016; LETTE *et al.*, 2018; MANDAL *et al.*, 2020; NAGAMADHU *et al.*, 2019).

Um outro método de produção de CMP apontado foi a aplicação manual, conhecido na literatura por *hand lay-up* (HE; LIU; DI, 2016; KHAN; SRIVASTAVA; GUPTA, 2019; SAXENA; GUPTA, 2019). O *hand lay-up* é o método de moldagem mais simples e antigo para a fabricação de compósitos (JAMIR; MAJID; KHASRI, 2018). Neste método, as fibras secas que compõem a carga são colocadas manualmente no molde e um pincel é usado para aplicar a matriz de resina no material de reforço. Posteriormente, rolos manuais são usados para facilitar uma distribuição uniforme da resina e obter a espessura necessária. Finalmente, os compósitos são deixados para curar em condição atmosférica padrão (JAMIR; MAJID; KHASRI, 2018).

6. PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO

Comparar as propriedades mecânicas da madeira com um material de composição variável como o CMP é difícil; as propriedades da madeira mudam com o teor de umidade, enquanto as propriedades do CMP variam de acordo com os materiais utilizados e o tipo de fabricação. Geralmente a resistência à flexão e o módulo do CMP são inferiores aos da madeira natural e, se o teor de madeira incorporado for baixo, as resinas termoplásticas deformam. Por outro lado, a dureza, resistência à abrasão, cisalhamento e resistência à compressão dos CMP podem superar a madeira convencional (PRITCHARD, 2004). As propriedades dos CMP encontradas na presente revisão de literatura estão compiladas na Tabela 1. Foram poucos os trabalhos que continham resultados a respeito de todas as propriedades listadas na Tabela 1, o que pode ser justificado com a variedade de temas e objetivos das pesquisas selecionadas.

Este compilado pode ser utilizado para comparar as propriedades mecânicas dos CMP da literatura com as propriedades mecânicas das madeiras naturais relatadas pelo IPT (2021) comumente utilizadas para a construção de decks: Ipê, Itaúba, Eucalipto, Pinus e Teca.

Dentre os valores encontrados, a resistência média à flexão foi de 41,01 MPa, inferior à resistência à flexão do Pinus verde (48,0 MPa), a menor entre as madeiras naturais citadas (IPT, 2021). O valor mínimo foi de 17,5 MPa, do CMP de PE e Eucalipto (30%) (BARBOS et al., 2020). O valor máximo foi de 75,5 MPa, pertencente ao compósito de RE com álamo (HE; LIU; DI, 2016), 57% superior ao Pinus verde. Enquanto isso, o compósito de RF com cedro (LETTE *et al.*, 2018) e o compósito de PP com MDF moído (60%) (KRAUSE *et al.*, 2018) alcançaram valores superiores em 29% e 23%, respectivamente quando comparados com a mesma madeira natural. Ainda assim, somente o compósito de PP com MDF moído (60%) apresenta valor de módulo de elasticidade superior ao da madeira natural. Desta forma, se tratando da resistência à flexão, este compósito poderia integrar um deck no lugar de uma madeira do tipo Pinus.

Se tratando da resistência à tração, os trabalhos se tornam mais promissores. Há uma média de 25,9 MPa desta propriedade mecânica, sendo que 75% dos dados se encontram acima de 13 MPa. Com exceção do compósito de PP com farinha de Abeto branco (MAZZANTI, *et al.*, 2020), todos os compósitos produzidos apresentaram resistência superior a todas as madeiras naturais citadas, cujo maior representante é o Ipê com 11,1 MPa. Novamente, o compósito de PP com MDF moído (60%) obteve destaque, atingindo uma resistência 8 vezes maior que a resistência do Ipê, a madeira natural dentre as apresentadas com melhor propriedade de resistência à tração. (IPT, 2021; KRAUSE *et al.*, 2018). O compósito de PLA com Melia dúbia (30%) (CHITRA *et al.*, 2018) também apresentou alto valor de resistência à tração, 4 vezes maior que a do Ipê. Desta forma, se houver uma preocupação maior com a resistência à tração normal às fibras, os CMP podem facilmente substituir as madeiras naturais utilizadas na construção de decks.

Compósito	Resistência à Flexão (MPa)	Módulo (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Módulo (GPa)	Resistência ao impacto (kJ/m²)	Referência
PE + Casca de Levedura (25%)	-	0,70	13	-	-	(HEJNA *et al.*, 2021)
PE + Casca de Café (25%)	-	0,65	12	-	-	(HEJNA *et al.*, 2021)
PE + Farinha de madeira (Resíduos de planeamento)	21,23	3,42	-	-	-	(MAZZANTI, V.; MOLLICA, 2017)
PLA + Melia dúbia (30%)	-	2,61	45,1	-	-	(CHITRA *et al.*, 2018)
PE + Farinha de Abeto	22,36	2,89			12	(FORTINI; MAZZANTI, 2018)
PP + Farinha de Abeto branco	-	1,70	8	-	18,70	(MAZZANTI, Valentina *et al.*, 2020)

Continua...

...continuação

Compósito	Resistência à Flexão (MPa)	Módulo (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Módulo (GPa)	Resistência ao impacto (kJ/m²)	Referência
PE + Eucalipto (30%)	17,5	6,5	18	-	2	(BARBOS *et al.*, 2020)
PP + Camará (20%)	50	2,5	35	-	-	(KALE *et al.*, 2017)
PS + Casca de Arroz (50%)	-	-	28,7	-	-	(ESKANDER; TAWFIK; TAWFIC, 2018)
PP + Farinha de madeira (20%)	28	-	55	-	-	(YADAV; YUSOH, 2016)
PP + MDF Moído (20%)	41,6	2,2	27,9	-	-	(BÜTÜN *et al.*, 2018)
PE + Farelo de trigo (20%)	-	-	10	-	-	(HEJNA *et al.*, 2020)
PP + MDF Moído (60%)	59,2	6,4	97,8	-	20,1	(KRAUSE *et al.*, 2018)
RE + Shorea robusta	38,58	4,60	21,8	3,38	2,3	(KHAN; SRIVASTAVA; GUPTA, 2019)
PL + Teca	48,92	2,70	14,2	1,40	3,7	(JAIN; GUPTA, 2018)
PL + Shorea robusta	26,61	1,81	14,0	0,96	-	(VIMALANATHAN; VENKATESHWARAN; SANTHANAM, 2016)
RE+ Árvore Sal	44,23	2,40	13,9	1,30	3,2	(JAIN; GUPTA, 2018)
RE + Shorea robusta	43,47	2,44	13,5	1,29	3,2	(SAXENA; GUPTA, 2019)
RE + Mangueira	54,15	2,21	12,0	1,28	3,1	(SAXENA; GUPTA, 2019)
PP + Casca de Arroz	44,0	-	-	-	-	(ESKANDER; TAWFIK; TAWFIC, 2018)
RE + Álamo	75,50	-	-	-	7,8	(HE; LIU; DI, 2016)
RF + Cedro	61,82	2,60	34,5	0,024	9,7	(LETTE *et al.*, 2018)
RE + Pinheiro	20,03	4,48	18,2	4,41	2,2	(KHAN; SRIVASTAVA; GUPTA, 2019)

Tabela 1. Propriedades mecânicas de Compósitos Madeira-Plástico

A resistência ao impacto não foi objeto de estudo de grande parte dos trabalhos. Ainda assim, o compósito de PP com Farinha de Abeto branco (MAZZANTI et al., 2020) e o compósito de PP com MDF moído (60%) (KRAUSE et al., 2018) apresentaram valores de resistência maiores, quando comparados ao Pinus e à Itaúba (IPT, 2021). O bom desempenho do compósito de PP com Farinha de madeira quanto à

resistência ao impacto deve ser considerado como um caso isolado e não configura uma boa opção de substituição. Isso porque o mesmo compósito não apresenta valores de resistência à flexão e corresponde ao pior desempenho de resistência à tração, como citado anteriormente. Em contrapartida, o compósito de PP com MDF moído (60%) se apresenta como a melhor opção dentre todos os compósitos levantados para substituir o Pinus. O compósito apresentou propriedades superiores de resistência à tração, compressão e impacto e possui módulo de elasticidade equivalente ao da madeira natural.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões realizadas neste trabalho mostraram como alguns CMP apresentam propriedades equivalentes ou superiores às madeiras naturais comumente utilizadas. O Pinus pode ser substituído, por exemplo, por um compósito desenvolvido por Krause (KRAUSE *et al.*, 2018), que utiliza PP e MDF moído (60%) como componentes. Outra grande vantagem apresentada pelos CMP foi sua versatilidade de produção. Embora o PP e a farinha de madeira sejam amplamente utilizados como componentes, a matriz polimérica pode ser composta por inúmeros polímeros e uma infinidade de materiais fibrosos podem funcionar como cargas de enchimento e reforço.

Vale lembrar que a seleção dos materiais deve influenciar diretamente a escolha do método de produção de CMP. O processamento deve ter suas condições limitadas, principalmente de temperatura, por conta da natureza instável da carga de madeira. A extrusão, a moldagem por injeção e o *hand lay-up* se mostraram processos extremamente eficazes, sendo os dois primeiros indicados para compósitos a base de termoplásticos e o último para termofixos.

Desta forma, os CPM representam uma ótima alternativa para solucionar o problema da poluição de resíduos plásticos. Ao mesmo tempo, contribuem para a diminuição da exploração de madeiras naturais para fins construtivos, como é o caso dos decks.

Vale ressaltar que dentre os manuscritos utilizados, não havia uma padronização da quantidade e tipos de ensaios realizados para mensurar as propriedades mecânicas dos CMP, o que prejudicou a comparação de desempenho entre eles. Constatou-se ainda a falta de relatórios e estudos que reunissem informações padronizadas a respeito das propriedades mecânicas dos diversos tipos de madeira natural. Desta forma, os autores recorreram aos dados da plataforma online do IPT de São Paulo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (Abiplast). Perfil 2019. São Paulo, 2020. Disponível em: http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019/.

ASHORI, Alireza. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries! Bioresource Technology, [*s. l.*], v. 99, n. 11, p. 4661–4667, 2008.

BAHARI, Shahril Anuar; KRAUSE, Andreas. Utilizing Malaysian bamboo for use in thermoplastic composites. Journal of Cleaner Production, [*s. l.*], v. 110, p. 16–24, 2016.

BARBOS, Josiane Dantas Viana *et al.* Development and characterization of WPCs produced with high amount of wood residue. Journal of Materials Research and Technology, [*s. l.*], v. 9, n. 5, p. 9684–9690, 2020.

BASALP, Dildare *et al.* Utilization of Municipal Plastic and Wood Waste in Industrial Manufacturing of Wood Plastic Composites. Waste and Biomass Valorization, [*s. l.*], v. 11, n. 10, p. 5419–5430, 2020.

BELLON, Karine Ramos da Rosa.(2013). " MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE FLORESTAS PLANTADAS PELO PROCESSO VAP HolzSysteme ® ". Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curtiba, Brasil.

BLANCO-FLÓREZ, J. *et al.* Simulação em serviço de pisos de madeira jovem de Tectona grandis. Revista Materia, [*s. l.*], v. 20, n. 4, p. 1048–1060, 2015.

Bochkov, I.;Varkale, M.;Merijs Meri, R.;Zicans, J.;Franciszczak, P.;Bledzki, A.K. Polypropylene composites wear resistance properties due to spelt and oat grain husks short fiber preparation technology. Proceedings of 10th International Scientific Conference BALTTRIB 2019, [*s. l.*], n. November, p. 1–6, 2019.

BÜTÜN, F. Yağmur *et al.* Recovering fibres from fibreboards for wood polymer composites production. International Wood Products Journal, [*s. l.*], v. 9, n. 2, p. 42–49, 2018.

CABRAL, Stênio Cavalier *et al.* Características comparativas da madeira plástica com a madeira convencional. Revista Científica Vozes dos Vales, [*s. l.*], v. 10, n. 5, p. 1–20, 2016.

CARDARELLI, François. Materials Handbook A Concise Desktop Reference. 3ªed. [*S. l.*]: Springer, 2018.

CARUS, M *et al.* WPC/NFC Market Study 2014-10 (Update 2015-06): Wood-Plastic Composites (WPC) and Natural Fibre Composites (NFC): European and Global Markets 2012 and Future Trends in Automotive and Construction. Market study by nova Institut GmbH, Hürth, DE, available under www. biobased. eu/markets, [*s. l.*], v. 5, n. 14, p. 1–16, 2015.

CHEN, Bo *et al.* Wood Plastic Composites from the Waste Lignocellulosic Biomass Fibers of Bio-Fuels Processes: A Comparative Study on Mechanical Properties and Weathering Effects. Waste and Biomass Valorization, [*s. l.*], v. 11, n. 5, p. 1701–1710, 2020.

CHITRA, K. N. *et al.* Characterization of wood polymer composite and design of root trainer. AIP Conference Proceedings, [*s. l.*], v. 1943, 2018.

CHUN, Koay Seong *et al.* Wood plastic composites made from post-used polystyrene foam and agricultural waste. Journal of Thermoplastic Composite Materials, [*s.l.*], v.32, n.11, p.1455-1466, 2019.

CLEMONS, Craig. Interfacing wood-plastic composites industries in the U.S.,. Forest Products Journal, [*s. l.*], v. 52, n. 6, p. 10–18, 2002.

ERLANDSSON, Martin; KJELLOW, Anders; LAURENTI, Rafael. LCA on NTR treated wood decking and other decking materials. [*s. l.*], n. 715202, p. 21, 2018.

ESCOCARD, Fábio Carneiro; ALMEIDA, Micaela Chagas; ERTHAL, Milton. FUNCIONALIDADE DA LEI DAS SACOLAS PLÁSTICAS NA REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS EM CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ. Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias (ISSN: 2525-4790), v. 3, n. 1, 2018.

ESKANDER, Samir B.; TAWFIK, Magda E.; TAWFIC, Medhat L. Mechanical, flammability and thermal degradation characteristics of rice straw fiber-recycled polystyrene foam hard wood composites incorporating fire retardants. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, [*s. l.*], v. 132, n. 2, p. 1115–1124, 2018.

FERENHOF, Helio Aisenberg; FERNANDES, Roberto Fabiano. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método SFF. Revista ACB, [*s. l.*], v. 21, n. 3, p. 550–563, 2016.

FORTINI, Annalisa; MAZZANTI, Valentina. Combined effect of water uptake and temperature on wood polymer composites. Journal of Applied Polymer Science, [*s. l.*], v. 135, n. 35, p. 1–9, 2018.

GARDNER, Douglas J.; HAN, Yousoo; WANG, Lu. Wood-Plastic composite technology. Current Forestry Reports, [*s. l.*], v. 1, n. 3, p. 139-150, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40725-015-0016-6.

GARRIDO, Ana Luisa Guéron e Viviane. Requisitos ambientais, acesso a mercados e competitividade na indústria de madeira e móveis do Brasil. Ponto Focal de Barreiras Técnicas às Exportações. Inmetro, [*s. l.*], p. 38, 2004.

GIRDIS, Jordan *et al.* Rethinking Timber: Investigation into the Use of Waste Macadamia Nut Shells for Additive Manufacturing. Jom, [*s. l.*], v. 69, n. 3, p. 575–579, 2017.

GWON, Jae Gyoung; LEE, Sun Young; KIM, Jung Hyeun. Thermal degradation behavior of polypropylene base wood plastic composites hybridized with metal (aluminum, magnesium) hydroxides. Journal of Applied Polymer Science, [*s. l.*], v. 131, n. 7, p. 1–7, 2014.

HE, Shanshan; LIU, Tong; DI, Mingwei. Preparation and Properties of Wood Flour Reinforced Lignin-Epoxy Resin Composite. BioResources, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 2319–2333, 2016.

HEIDBREDER, Lea Marie *et al.* Tackling the plastic problem: A review on perceptions, behaviors, and interventions. Science of the Total Environment, [*s. l.*], v. 668, p. 1077–1093, 2019.

HEJNA, Aleksander *et al.* By-products from food industry as a promising alternative for the conventional fillers for wood–polymer composites. Polymers, [*s. l.*], v. 13, n. 6, 2021.

HEJNA, Aleksander *et al.* Rotational molding of linear low-density polyethylene composites filled with wheat bran. Polymers, [*s. l.*], v. 12, n. 5, 2020.

HUANG, Lijie *et al.* Performance of waste-paper/PETG wood-plastic composites. AIP Advances, [*s. l.*], v. 8, n. 5, 2018.

HÜNNEKENS, Benedikt *et al.* Plasma treatment of wood-polymer composites: A comparison of three different discharge types and their effect on surface properties. Journal of Applied Polymer Science, [*s. l.*], v. 133, n. 18, p. 1–9, 2016.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado São Paulo 2021. INFORMAÇÕES SOBRE MADEIRAS. São Paulo, SP. Disponível em: https://www.ipt.br/informacoes_madeiras2.php (acesso em 24 de junho de 2021).

JAIN, Nitin Kumar; GUPTA, M. K. Hybrid teak/sal wood flour reinforced composites: Mechanical, thermal and water absorption properties. Materials Research Express, [*s. l.*], v. 5, n. 12, 2018.

JAMIR, Mohammad R. M.; MAJID, Mohammad S. A.; KHASRI, Azduwin. Sustainable Composites for Aerospace Applications. [*S. l.*]: Woodhead publishing, 2018.

JAUNSLAVIETIS, Jevgenijs *et al.* The influence of mechanical and mechanochemical activation of hardwood wood waste on biocomposite properties. Key Engineering Materials, [*s. l.*], v. 800 KEM, p. 200–204, 2019.

KAJAKS, Janis *et al.* Physical and mechanical properties of composites based on polypropylene and timber industry waste. Central European Journal of Engineering, [*s. l.*], v. 4, n. 4, p. 385–390, 2014.

KALE, Amey *et al.* Lantana Fiber-Filled Polypropylene Composite. Wood is Good: Current Trends and Future Prospects in Wood Utilization, [*s. l.*], p. 1–480, 2017.

KAMAU-DEVERS, Kanotha; KORTUM, Zachary; MILLER, Sabbie A. Hydrothermal aging of bio-based poly(lactic acid) (PLA) wood polymer composites: Studies on sorption behavior, morphology, and heat conductance. Construction and Building Materials, [*s. l.*], v. 214, p. 290–302, 2019.

KHAN, Mohammad Z.R.; SRIVASTAVA, Sunil Kumar; GUPTA, M. K. A state-of--the-art review on particulate wood polymer composites: Processing, properties and applications. Polymer Testing, [*s. l.*], v. 89, n. May, p. 106721, 2020.

KHAN, Mohammad Z.R.; SRIVASTAVA, Sunil Kumar; GUPTA, M. K. Water absorption and its effect on mechanical properties of hybrid wood particulates composites. Materials Research Express, [*s. l.*], v. 6, n. 10, 2019.

KIELING, Antonio Claudio; SANTANA, Genilson Pereira; DOS SANTOS, Maria Cristina. COMPÓSITOS DE MADEIRA PLÁSTICA : CONSIDERAÇÕES GERAIS. Scientia Amazonia, [*s. l.*], v. 8, n. December, 2019.

KRAUSE, Kim Christian *et al.* Utilization of recycled material sources for wood--polypropylene composites: Effect on internal composite structure, particle characteristics and physico-mechanical properties. Fibers, [*s. l.*], v. 6, n. 4, p. 1–18, 2018.

KUSZELNICKA, I. *et al.* Effect of surface wettability of wood-polymer composites on biofilm formation in wastewater treatment processes. Polimery, [*s. l.*], v. 63, n. 9, p. 619–625, 2018.

LETTE, Marieme Josephine *et al.* Evaluation of Sawdust and Rice Husks as Fillers for Phenolic Resin Based Wood-Polymer Composites. Open Journal of Composite Materials, [*s. l.*], v. 08, n. 03, p. 124-137, 2018.

MALLET, Julian; KALYANASUNDARAM, Shankar; EVANS, Philip D. Digital image correlation of strains at profiled wood surfaces exposed to wetting and drying. Journal of Imaging, [*s. l.*], v. 4, n. 2, 2018.

MANDAL, Moon *et al.* Study of UV stability, biodegradability and physical properties of rosin derivative cross-linked wood polymer composites. International Wood Products Journal, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 2–11, 2020.

MAZZANTI, V.; MOLLICA, F. Bending Properties of Wood Flour Filled Polyethylene in Wet Environment. Procedia Engineering, [*s. l.*], v. 200, p. 68–72, 2017.

MAZZANTI, Valentina *et al.* Correlation between Mechanical Properties and Polymer Composites. [*s. l.*], 2020.

MOCELLIN, Gabriel; GAVASSONI, Elvidio. ANÁLISE TÉCNICA COMPARATIVA ENTRE OS USOS DE DLT E DECKING EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. *In*: , 2019, Montevideo - uruguay. 4° Congresso Latinoamericano de Estruturas de Madeiras. Montevideo - uruguay: [*s. n.*], 2019.

NAGAMADHU, M. *et al.* Dynamic Mechanical Analysis and Thermal Stability of Neem Wood Veneer Plastic Composites. Materials Today: Proceedings, [*s. l.*], v. 24, p. 2265–2273, 2019.

NAGHIPOUR, M.; NEMATZADEH, M.; YAHYAZADEH, Q. Analytical and experimental study on flexural performance of WPC-FRP beams. Construction and Building Materials, [*s. l.*], v. 25, n. 2, p. 829–837, 2011.

NAZÁRIO, Gabriel Fernando *et al.* Madeira plástica: Uma revisão conceitual. Revista Engenharia em Ação UniToledo, [*s. l.*], v. 01, p. 54–71, 2016.

OJHA, Shakuntala; RAGHAVENDRA, G.; ACHARYA, S.K. A comparative investigation of bio waste filler (wood apple-coconut) reinforced polymer composites. Polymer Composites, [*s. l.*], v. 35, n. 1, p. 180–185, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1002/pc.22648

OLIVEIRA, Evelyn Martins Reale de; OLIVEIRA, Emilly Martins Reale de;; COSTA, Raissa Andrade. Madeira plástica. [*S. l.: s. n.*], 2013.

PORTELA JUNIOR, Adauto de Brito *et al.* A MADEIRA PLÁSTICA E SEUS EFEITOS E VANTAGENS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. *In*: , 2019. Enaproc. [*S. l.: s. n.*], 2019. p. 10–12.

PRITCHARD, Geoff. Two technologies merge: Wood plastic composites. Plastics, Additives and Compounding, [*s. l.*], v. 6, n. 4, p. 18–21, 2004.

RENNECKAR, Scott *et al.* Compositional analysis of thermoplastic wood composites by TGA. Journal of Applied Polymer Science, [*s. l.*], v. 93, n. 3, p. 1484–1492, 2004.

RIZVI, Ghaus M.; SEMERALUL, Hamid. Glass-fiber-reinforced wood/plastic composites. Journal of Vinyl and Additive Technology, [*s. l.*], v. 14, n. 1, p. 39–42, 2008.

SAUERBIER, Philipp; KÖHLER, Robert. Gerrit Renner and Holger Militz. Plasma Treatment of Polypropylene-Based. Polymers, [*s. l.*], v. 12, p. 1933, 2020.

SAXENA, Mohit; GUPTA, M. K. Mechanical, thermal, and water absorption properties of hybrid wood composites. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, [*s. l.*], v. 233, n. 9, p. 1914–1922, 2019.

SMITH, Paul M.; WOLCOTT, Michael P. Opportunities for wood/natural fiber-plastic composites in residential and industrial applications. Forest Products Journal, [*s. l.*], v. 56, n. 3, p. 4–11, 2006.

TAN, T. *et al.* Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures. Acta Biomaterialia, [*s. l.*], v. 7, n. 10, p. 3796–3803, 2011.

VIMALANATHAN, P.; VENKATESHWARAN, N.; SANTHANAM, V. Mechanical, dynamic mechanical, and thermal analysis of Shorea robusta-dispersed polyester composite. International Journal of Polymer Analysis and Characterization, [*s. l.*], v. 21, n. 4, p. 314–326, 2016.

YADAV, Sumit Manohar; LUBIS, Muhammad Adly Rahandi; SIHAG, Kapil. A Comprehensive Review on Process and Technological Aspects of Wood- Plastic Composites. Jurnal Sylva Lestari, [*s. l.*], v. 9, n. May, p. 329–356, 2021.

YADAV, Sumit Manohar; YUSOH, Kamal Bin. Modification of pristine nanoclay and its application in wood-plastic composite. E-Polymers, [*s. l.*], v. 16, n. 6, p. 447-461, 2016.

ZAINI, A. S.Syah M. *et al.* Mechanical properties evaluation of extruded wood polymer composites. AIP Conference Proceedings, [*s. l.*], v. 1877, 2017.

ZHANG, Hui Hui; CUI, Yihua; ZHANG, Zhidan. Chemical treatment of wood fiber and its reinforced unsaturated polyester composites. Journal of Vinyl and Additive Technology, [*s. l.*], v. 19, n. 1, p. 18-24, 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasil (CNPq) pelo apoio financeiro. Os autores também agradecem ao Departamento de Engenharia Urbana (DEURB), Departamento de Engenharia civil (DECIV), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROPEC), à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPPI-UFOP) e à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pelo apoio para realização e apresentação desta pesquisa.