

Concepção de paleta de cores para compósito de resíduo particulado de MDF com poliéster termofixo e aplicação em um produto conceitual

Marcelo G. Teixeira,

marcelomgt@gmail.com – Departamento de Design - Grupo de estudo, caracterização e desenvolvimento de novos materiais. UNEB - Universidade do Estado da Bahia, Salvador, Brasil Departamento de Design Faculdade Ruy Barbosa | DeVry Brasil, Salvador, Brasil

Resumo

Aqui deve ser feito um resumo com extensão de 200 a 400 palavras, conforme a língua escolhida para a submissão do artigo. O consumo do MDF (Medium Density Fibreboard) tem se intensificado no Brasil indicando não só seu uso em produtos finalizados, mas também o aumento dos seus resíduos. Compósitos formulados com matriz polimérica e resíduos particulados de madeira e seus derivados têm sido apontados como uma alternativa de recicla-los, aproveitando-os como insumo para novos produtos. A literatura mostra os esforços do desenvolvimento e testes de novas combinações de matrizes e resíduos particulados linocelulósicos, se concentrando, entretanto nas suas características físicas. Este artigo tem como objetivo mostrar o desenvolvimento de uma paleta de cores em compósito de resíduo particulado de MDF com poliéster termofixo, buscando ampliar este horizonte, do ponto de vista do Design e da Sustentabilidade. O resíduo de MDF foi coletado na oficina de madeira do curso de Design da Universidade do Estado da Bahia enquanto na matriz foi usada a resina termofixa de poliéster comum. Para a paleta de cores foram misturadas pequenas quantidades de pigmentos, usando método experimental, análogo aos métodos artísticos. Foram desenvolvidos 24 traços coloridos, para em seguida serem aplicados em um produto conceitual, na forma de um painel tipo mosaico. Os resultados, tanto da paleta de cores quanto do processo de produção do painel, apontam para a possibilidade concreta de sua utilização em novos produtos.

Palavras-chave: Resíduo de MDF, Compósito, Paleta de Cores.

Color palette design for particulate waste MDF with thermosetting polyester composite and application in a conceptual product

Abstract

Consumption of MDF (Medium Density Fibreboard) has intensified in Brazil indicating not only their use in finished products, but also the increase of their waste. Composites formulated with polymer matrix and particulate waste wood and its derivatives have been suggested as an alternative recycles them, taking them as raw material for new products. The literature shows the development efforts and the test of new combinations of matrices and wood particulate waste, focusing, however in the physical characteristics. This article aims to show the development of a color palette composite particulate waste MDF with thermosetting polyester, seeking to expand this horizon, from the point of view of Design and Sustainability. The MDF residue was collected in wooden lab of the design course of the Bahia State University with a polyester thermosetting resin as matrix. For the color palette were mixed small amounts of pigments, using experimental method analogous to artistic methods. Twenty-four colorful traits were developed to then be applied in a conceptual product, like a mosaic-like panel. The result, the color palette and the panel production process, shows a real possibility of their use in new products.

Keywords: MDF waste, composites, color palette.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o meio ambiente torna imperativo pesquisas sobre alternativas ecológicas para materiais e processos de produção. As indústrias de base florestal, dentre elas a indústria madeireira e dos seus materiais derivados, são um exemplo de um processo ineficiente. A grande quantidade de resíduos particulados de madeira, na forma de serragem, cavacos e maravalha, provenientes dos processos de produção das indústrias madeireiras e de móveis, por exemplo, podem ser considerados como um exemplo desta ineficiência quanto às questões ambientais.

A indústria de produtos em madeira tem no MDF (*Medium Density Fibreboard*) uma das suas principais matérias primas. O uso de madeiras reconstituídas, como o MDF, tem se expandido no mundo e principalmente no Brasil, que ocupa o sétimo lugar entre os maiores consumidores deste tipo de madeira (IBA, 2015-1). Os resíduos desta produção, portanto, resultam numa grande quantidade de material que não têm um destino correto, sendo geralmente descartados nos aterros sanitários ou destinados a queima (TEIXEIRA, 2005, P. 2). No caso do MDF existe o agravante de ser um material composto de fibras celulósicas aglutinadas e compactadas com resinas aldeídicas, substâncias associadas à emissão de compostos orgânicos carcinogênicos (USA, 2013, P. 4)

Por outro lado, compósitos formulados a partir de resíduos particulados de madeira e seus derivados, como o MDF, podem ser uma alternativa ambientalmente sustentável ao descarte (TEIXEIRA, 2005, P. 4). Os compósitos são materiais híbridos, desenvolvidos a partir da combinação de vários tipos de materiais distintos, sendo que uma formulação tradicional envolve uma matriz geralmente polimérica ou cimentícia, um reforço de fibras tecidas e/ou não-tecidas e uma carga particulada mineral. Num eco-compósito esses componentes são oriundos de fontes sustentáveis e limpas, tal como as fibras e particulados vegetais, além de serem provenientes de fontes renováveis, não tóxicas, não abrasivas e com baixo custo (ROMAN, 2015). Os resíduos de madeira sólida ou reconstituída, além de se encaixam nessa categoria, podem ser considerados ainda mais vantajosos ambientalmente por se tratar de materiais considerados como lixo, com valor mínimo, mas que podem ter o potencial de serem reintroduzidos como insumo em novos processos produtivos e produtos.

Diante desse cenário, questiona-se por um meio de valorizar o resíduo particulado de MDF como insumo, para um compósito capaz de ser moldado em produtos. Este questionamento aborda especificamente soluções tanto para ampliar as características do compósito, sua plástica estética, quanto para verificar a possibilidade de moldagem de um produto em um processo produtivo conhecido. Portanto, o objetivo deste artigo é demonstrar primeiramente a concepção de uma paleta de cores em compósito de MDF com resina poliéster termofixa, através da adição de pigmentos especiais e, em seguida, sua aplicação através da moldagem de um produto na forma de um painel colorido tipo mosaico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta parte deste artigo foram abordados os conceitos teóricos que fundamentaram a experiência. Foram feitas buscas em periódicos especializados, em teses e dissertações, em livros impressos e digitais e também em relatórios e documentos técnicos, que completaram o conteúdo teórico necessário. Dentre estes se destacaram aqueles na forma de vídeos tutoriais publicados por empresas especializadas.

2.1 Resíduos do Processamento de MDF

Apesar do consumo de madeira sólida estar em ascensão, saindo de 7,4 milhões de metros cúbicos em 2007 para 8,3 em 2012 (REMADE, 2016), o setor de painéis de madeira reconstituída também tem aumentado sua competitividade, com a produção de MDF, OSB e painéis de partículas, principalmente no Brasil, devido ao baixo custo de produção e da disponibilidade de matéria prima oriunda de florestas plantadas (TORQUATO, 2010), alcançando 7,5 milhões de metros cúbicos em 2013 (GNOATTO, 2014).

Segundo Teixeira (2005), a indústria de madeira distribui a matéria prima básica (toras de madeira virgem) em diversos setores e processos produtivos, como visto na Figura 1.



Figura 1: Cadeia industrial da madeira (TEIXEIRA, 2005).

Neste contexto se destaca o MDF, madeira reconstituída que se apresenta na forma de painéis. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBA (2015-1) e Gnoato (2014), o MDF vem se estabelecendo como uma das principais opções para a fabricação de móveis e produtos fabricados a partir de painéis de madeira reconstituída com 95% da produção voltada para o mercado interno (IBA, 2015-2)

Desenvolvido em meados dos anos 1970, o MDF é fabricado a partir da mistura e prensagem em alta temperatura de fibras obtidas com a trituração da madeira misturadas com resinas sintéticas, geralmente resinas aldeídicas, resultando em painéis com acabamento superficial cru ou revestido (VALENÇA, ROQUE, SOUZA, 2016). Os processos produtivos que envolvem a fabricação de produtos de MDF são tradicionais e usam ferramentas e máquinas básicas de marcenaria, tal como serras de diversos tipos, furadeiras, tupias e lixadeiras, dentre outras (PIVA, 2006).

Esses processos, por outro lado, geram grande quantidade de resíduo, que se apresentam tanto na forma de pequenos pedaços sólidos quanto resíduos particulados, como serragem, maravalha, farinha ou pó (TEIXEIRA, SANTOS JUNIOR, COPQUE, 2016). Embora o MDF seja derivado da madeira, um material não tóxico, o seu resíduo é classificado pela norma NBR 10.004-2004 (ABNT, 2004) como sendo de Classe I, tóxico. Isso se deve por seu substrato sintético ser composto por substâncias aldeídicas, que são associadas à emissão de compostos orgânicos carcinogênicos (USA, 2015, P. 5) Além disso, o MDF também pode estar contaminado com outros materiais, tais como tintas e vernizes, capazes de emitir gases ou vapores tóxicos durante processos de reciclagem ou queima.

Tal como o resíduo de madeira, descrito por Teixeira (2005), o resíduo de MDF tem características que variam de acordo com o tipo de processo ou máquina, gerando granulometria, textura e forma de partículas diferenciadas. Também o estado do fio das máquinas como também a forma de sua armazenagem podem causar variação no estado físico

das partículas: um dispositivo cego pode escurecer as partículas pela maior fricção com o material assim como o seu armazenamento em condições de variação atmosférica pode alterar sua umidade e acelerar sua degradação (TEIXEIRA, 2005, P. 34).

2.2 Requisitos de Eco-design Para Materiais

Segundo Manzini e Vezzoli (2002, P. 15) o Eco-design “é um modelo projetual orientado por critérios ecológicos”. Este se contrapõe às soluções fim-de-tubo, aquelas que buscam

remediar problemas ambientais depois que os mesmos são gerados (KIPERSTOK, 2002, P 193), por propor produtos e serviços que antecipam soluções de baixo impacto ambiental. Fiksel (2009, P. 83) o define como uma forma de sistematizar o design através de requisitos específicos, que vão além da sua aplicação em prol do meio ambiente, mas também a saúde e a segurança humana de forma sustentável.

Manzini e Vezzoli (2002) estabeleceram requisitos que devem ser aplicados em todas as fases e etapas do ciclo de vida de um produto. O Quadro 1 refere-se aos que abordam questões sobre o uso de materiais de fabricação.

Quadro 1: Requisitos ambientais para projeto de produto.

REQUISITO	CONCEITO	SUGESTÕES
Minimização dos recursos	Redução do consumo de matéria e energia associado ao produto ou serviço ao longo de todo seu ciclo de vida;	<ul style="list-style-type: none"> • Conceber produtos mais leves, usando o mínimo de matéria prima; • Minimizar as perdas e resíduos • Evitar materiais que estão para se exaurir; • Usar materiais reciclados e recicláveis; • Usar materiais compatíveis entre si; • Usar materiais abundantes e sem restrição de uso; • Usar materiais renováveis; • Usar materiais que provenham de refugos de processos produtivos;
Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental	Diminuição dos impactos ambientais pela escolha dos melhores recursos materiais e energéticos;	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar tecnologias e processos de produção mais limpas e sustentáveis disponíveis; • Selecionar processos mais acessíveis e de custo mais baixo possível;
Extensão da vida dos materiais	Diminuição de resíduos e possibilidade do uso de materiais não-videntes nas mais variadas possibilidades e durante o maior tempo possível;	

Fonte: construído a partir de Manzini e Vezzoli (2002).

Os requisitos mostrados no quadro 1, permitem estabelecer a ideia de que materiais residuais, tal como o resíduo de MDF, podem ter uma oportunidade de serem usados novamente como insumo em outros processos, na fabricação de novos produtos. Essa ideia se aproxima, ou mesmo se encaixa, no conceito de circulação de recursos materiais e energéticos envolvendo vários sistemas de produção e consumo nos quais o que é considerado resíduo em um processo produtivo, passa a ser usado como insumo em processos diferentes (KIPERSTOK, MARINHO, 2001), através de etapas de reciclagem e de valorização, figura 2.

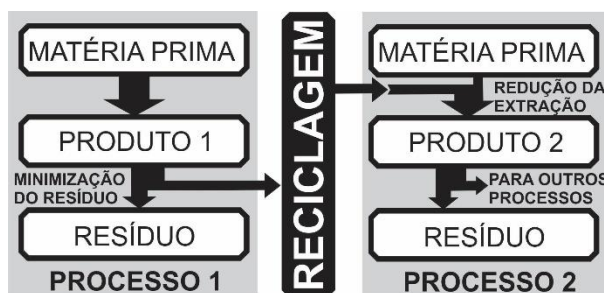


Figura 2: Representação gráfica da circulação de resíduos

O conceito de reciclagem, normalmente associado às alternativas “fim de tubo” por atuar depois do descarte de resíduos industriais ou de pós-consumo, passa a ter então outra compreensão, na qual não há mais o conceito de resíduo (TEIXEIRA, 2015) e sim de materiais que circulam em vários processos produtivos.

2.3 Compósitos e Eco-compósitos

Uma das formas de reintegração de resíduos particulados como insumo é usá-los como componentes na produção de compósitos, materiais compostos por uma matriz, reforços fibrosos e, quando necessário, cargas particuladas e aditivos químicos (BRASKEM, 2002, P. 2).

Os tipos dos materiais usados na composição dos compósitos são variados: a matriz pode ser geralmente polimérica ou cimentícia, as fibras podem ser sintéticas ou vegetais, as cargas podem ser minerais ou vegetais. Os aditivos são substâncias que alteram a plasticidade, a cor, etc. Um dos compósitos mais conhecidos é o Fiberglass, ou fibra de vidro, que usa como matriz resinas termofixas, reforços na forma de mantas e/ou tecidos de fibras de vidro e cargas como o talco.

Já o eco-compósito, segundo Teixeira (2005, P. 47), surge “quando seus componentes são oriundos de fontes renováveis, abundantes e não tóxicas, podendo ser materiais reciclados e, alguns, biodegradáveis”, e devendo ainda poder ser reciclável, com o objetivo de não interromper os processos de circulação de materiais.

Uma revisão na literatura indicou uma abrangência de pesquisas abordando compósitos de matriz polimérica, termoplástica ou termofixa, com reforços e cargas de origem vegetal. São exemplos as pesquisas de Saw e Datta (2009), que usaram fibras de juta, bagaço de cana e resina epóxi; de Chen et al (2015) que usou um blenda de HDPE e PET reciclados, reforçados com resíduos particulados de cascas de arroz; a de Hillig et al (2008), que usou matriz de HDPE com resíduos particulado de madeira oriundos de indústrias moveleiras e a pesquisa de Pauleski et al (2007) que usou HDPE, cascas de arroz e resíduo particulado de madeira.

Tais pesquisas exploram principalmente as possibilidades de se misturar diversos tipos de materiais de origens diferentes e não convencionais, por se tratarem de resíduos, assim como levantam suas propriedades físicas e mecânicas. Apesar de serem pesquisas que expandem as fronteiras do tema, entretanto se mostram limitadas, do ponto de vista do design, por não explorar outras características importantes como a valorização da sua plástica como, por exemplo, a aplicação de pigmentos coloridos.

2.4 Cores e Pigmentos em Compósitos

Tais como outros tipos de plásticos, os compósitos de matriz polimérica têm como vantagem o fato de poder ser moldados

na cor do produto. Para isso são usados aditivos colorantes, que transferem ao polímero cores e opacidade variadas. Os colorantes são classificados como pigmentos e corantes sendo que os primeiros são insolúveis na matriz polimérica, resultando normalmente em cores transparentes e opacas, enquanto que os últimos são solúveis, conferindo cores transparentes ao polímero (SARON, FELISBERTI, 2006; RODRIGUES, 2013). Os colorantes são também classificados como sendo de origem orgânica ou inorgânica; portanto podem-se dividir os colorantes em três grupos: corantes orgânicos, pigmentos orgânicos e pigmentos inorgânicos (RODRIGUES, 2013, P. 57).



Figura 2: Aplicação de Gel-coat em molde aberto (EASYCOMPOSITES, 2016)

Para compósitos populares, como o Fiberglass, são usados tanto os pigmentos orgânicos, que são encontrados na forma de pastas, quanto os pigmentos inorgânicos, que se apresentam na forma de particulados finos, tais como o negro de fumo e os óxidos metálicos (PASSATORE, 2013), como o dióxido de titânio.



Figura 3: Em cima, mantas SMC e abaixo, massas BMC.

A aplicação dos pigmentos em produtos fabricados em compósitos depende dos processos produtivos. Nos processos que usam molde aberto: *hand-lay-up* e *spary-up* (OWENS CORNING, 1999) e nos de molde fechado / infusão: prensagem a frio com baixa pressão, *Vacuum bag*, RTM (*Resin Transfer Molding*) ou RTM-L (*Resin Transfer Molding -Light*) (BROTHERS, 2010), usam-se os pigmentos na formulação do *Gel-coat*, uma camada superficial, com funções de acabamento e proteção. O *Gel-coat* substitui a pintura convencional (OWENS CORNING, 1999) sendo aplicado no molde como se fosse uma tinta (BROTHERS, 2010), com

trinchas e/ou pistolas, antes da aplicação dos reforços e da matriz, como visto na figura 2.

O *Gel-coat* é formulado com resina termofixa e carga mineral, se forem necessárias características como a opacidade e/ou maior resistência à abrasão. Usam-se também, aditivos que modificam as características físicas e estéticas do laminado, tal como os plastificantes, absorvedor de UV e, principalmente, os pigmentos (OWENS CORNING, 1999). O uso do *Gel-coat*, entretanto, não impede a aplicação de cargas e pigmentos na resina de laminação que irá impregnar as fibras, principalmente nos processos prensagem a frio (EAST COST, 2009) ou *hand-lay-up*.

Já os processos de prensagem a quente em moldes fechados usam os pigmentos na sua massa, sem uso do *Gel-coat*, como o *Sheet Molding Compound (SMC)*, que usa reforços de fibras em forma de mantas pré-impregnadas com a matriz polimérica, cargas e pigmentos, e o *Bulk Molding Compound (BMC)*, massas compostas de resinas, cargas e fibras, formuladas com pigmentos na cor final dos produtos (OWENS CORNING, 2012), conforme vistos na figura 3.

A quantidade de cores dos pigmentos orgânicos é variada. Alguns fabricantes disponibilizam apenas cores básicas tal como vermelho, laranja, amarelo, preto e alguns tons de azul e verde. Já outros disponibilizam maior número de tonalidades, com cores vibrantes, como na figura 4A, tons pastéis, meios tons e até cores metalizadas e fluorescentes (KOLORTEK, 2017). Já os pigmentos inorgânicos tem uma variedade menor de cores, indo do preto do negro de fumo, alguns tons de terra dos óxidos de ferro, figura 4B, até o branco do dióxido de titânio, figura 4C.



Figura 4: A- pigmentos orgânicos; B-pigmentos de óxidos de ferro, C-dióxido de titânio. (KOLORTEK, 2017)

Apesar da grande variedade de pigmentos comercializados, muitas cores são formuladas e customizadas através de misturas em processo manual, feito na maioria das vezes durante o processo produtivo (EAST COST, 2011; FIBERGLASS WAREHOUSE, 2016). Misturam-se cores básicas entre si e também com branco ou preto para se alcançar os meios tons (FIBER GLAST, 2016). Alguns fornecedores disponibilizam pigmentos especiais, com o propósito de serem misturados e customizados, como é o caso dos pigmentos da empresa *Fiber Glast* (2016). A mistura de pigmentos nos compósitos é um processo análogo a da mistura de tintas executado por artistas plásticos, na qual a gama de cores são ampliadas a partir da mescla de tintas comerciais, obtidas por experimentação e pela subjetividade do profissional (GISPERT, 2002, P 551). Nos compósitos, os pigmentos são usados geralmente em pequenas quantidades que vão de 1% a mais

ou menos 5% em relação com a matriz polimérica, podendo mudar de acordo com suas especificações.

2.4 Cores nos Compósitos Madeira/Plástico

A farinha de madeira já é usada desde 1970 como carga para resinas termoplásticas, a exemplo da marca comercial *Woodstok*[®], formulada com madeira em pó (farinha) com matriz de polipropileno e aplicada em autopeças (CORREA, 2003). Atualmente há uma grande variedade de compósitos de madeira/plástico (TEIXEIRA, 2005, P. 53), conhecidos como *WPC (wood plastic composites)*, uma categoria de material composto de matrizes termoplásticas ou termofixas, combinadas com material celulósico (vegetal) de várias origens, podendo ser particulados destinados para esse fim ou resíduos na forma de serragem ou farinha, na proporção de até 60% da sua massa (KLYOSOV, 2007, P. 75).

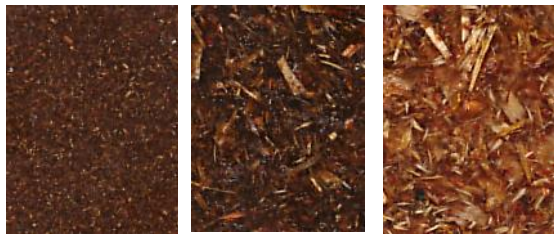


Figura 5: Exemplos das cores dos traços de WPC sugeridos por Teixeira (2005).

Algumas pesquisas referentes ao uso de resíduo particulado de madeira serrada ou reconstituída podem ser citadas como a de Matos et al (MATOS, 2014) que estudou o compósito composto de madeira particulada, dentre outros materiais lino-celulósicos, com matriz termoplástica de polipropileno; o de Ayrilmis, Kaymakci e Güleç (2015), que estudaram o resíduo de madeira apodrecida como componente de compósito termoplástico; Trein e Santos (2016) que estudaram o uso de resíduos particulados MDF e MDP e matriz de PVC. Tais pesquisas, entretanto, se limitaram na abordagem das possibilidades da combinação dos seus componentes e suas propriedades físicas e mecânicas, conforme já comentado anteriormente.

Entretanto, Teixeira (2005), ao estudar os diferentes tipos de resíduos particulados de madeira serrada na concepção de um compósito tipo WPC de matriz termofixa, com 15 traços distintos, produziu amostras de diferentes cores e texturas naturais, sem a adição de pigmentos. O autor, contudo, não sugeriu uma paleta de cores, apesar de ter constatado essa possibilidade. A figura 5 traz exemplos de algumas destas amostras.



Figura 6: Cores da EINWOOD[®] [42]

Por outro lado, a indústria disponibiliza *WPC's* comerciais, que são vendidos com diversas cores. A marca japonesa EINWOOD[®] (WPC CORPORATION, 2016), por exemplo, fornece

perfis de *WPC* para diversas aplicações, compostos de farinha de madeira e matriz termoplástica, pigmentada na sua massa durante os processos de fabricação, formando, assim, uma paleta de cores, vista na figura 6.

Segundo Klyosov (2007), a importância do uso de pigmentos nos *WPC's* vai além da plástica estética, por acrescentarem maior resistência à luz solar e ao desbotamento, proporcionando uma proteção de cerca de 50% maior quando combinados com estabilizadores contra raios ultravioletas solares.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em três partes, sendo a primeira a coleta do resíduo e a formulação do compósito seguido do desenvolvimento da paleta de cores e, na terceira parte, o design e modelagem do produto experimental.

3.1 Coleta de Material e Formulação do Compósito

Primeiramente foi realizada a coleta do resíduo particulado de MDF na oficina de madeira da Universidade do Estado da Bahia, resultado dos processos de pequenos serviços e demandas da instituição nas quais são usados a serra circular, a tupa, a furadeira dentre outras máquinas. A figura 7 mostra essa etapa.



Figura 7: Resíduos particulados de MDF ao redor das máquinas A- serra circular, B- tupa, C- furadeira e D- lixadeira

Os resíduos coletados se apresentaram com diferentes texturas e cores devido aos diferentes processamentos, situação similar ao descrito por Teixeira (2005), apesar de, geralmente, o MDF possuir uma cor uniforme com pouca

variação. A figura 8 mostra os resíduos coletados na tupia (A), furadeira (B), lixadeira (C) e serra circular (D).



Figura 8: Resíduos coletados

O compósito foi formulado de acordo com o método sugerido por Teixeira (2005, P.77) sendo adotado um traço com 20% de resíduo de MDF. A resina termofixa usada foi a Poliéster Cristal Arazyn 1.0, uma resina de uso geral e catalisado com MEK (peróxido de metil-etil-cetona) à 2%.

Com este resíduo, foram moldados 2 pastilhas, sem o uso de pigmentos, nas quais foi observado que, uma vez curado, o compósito apresentava uma textura marrom marmorizada quase uniforme, devido as partículas superficiais do MDF, sendo essa uma das suas características estéticas mais evidentes, como visto na figura 9.



Figura 9: Aparência do compósito sem pigmento, após a cura, em escala real.

3.2 Desenvolvimento da Paleta de Cores

Uma das competências do designer industrial é a elaboração de elementos e funções estéticas dos produtos (LOBACH 200, P 156,) principalmente se tratando de requisitos tanto comunicacionais quanto subjetivos, as formas, as cores, acabamentos, dentre outros, formando um conjunto de características plásticas necessárias para que se atinjam os resultados esperados (GOMES, 2006, P 97) (HARRISON, 1994, P 145). Ao adicionar cores aos polímeros pode-se criar uma variedade de tonalidades semelhantes a materiais naturais (SILVA. ROESE . KINDLEIN JÚNIOR, 2009) tornando-os esteticamente atrativos.

Portanto, visando aumentar a variedade das características estéticas do compósito em estudo, foi visto como oportuno o desenvolvimento de uma paleta de cores num processo análogo ao das misturas de tintas aquarela, a óleo e acrílicas usadas pelos artistas, como proposto por Harrison (1994, P 142) no qual paletas são elaboradas pela mistura gradual de cores em processos empíricos e subjetivos, por não haver uma fórmula pronta. O desenvolvimento da paleta de cores torna-se relevante não somente para testar o potencial estético do resíduo de MDF, como para verificar a possibilidade da elaboração de cores intermediárias diferentes daquelas disponibilizadas pela indústria.

Na elaboração da paleta foram misturadas, em um processo artesanal, sem o registro quantitativo, pequenas quantidades de pigmentos especiais com o objetivo de mudar ligeiramente, mas de forma incremental, o tom e/ou a saturação cromática da formulação inicial do compósito. O pigmento branco escolhido foi o dióxido de titânio para o primeiro traço e pigmentos de poliéster não reativo para os demais, nas cores preta, amarela, vermelha, azul e verde. Esses pigmentos são corantes genéricos, apresentados como pastas concentradas e comumente usados nos processos de laminação tradicional de produtos em fiberglass. Levou-se em consideração, entretanto, a quantidade máxima de pigmento recomendada a um laminado opaco: até 20% para o branco, 10% para o preto e as demais cores, 15% (DIEZ, 2006).

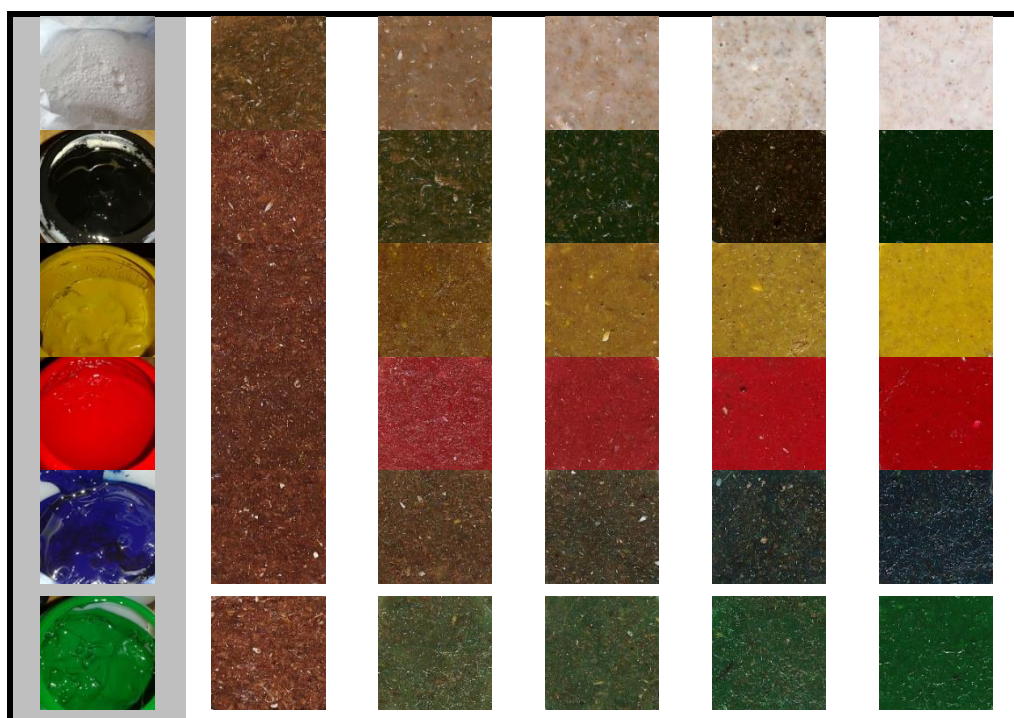


Figura 10: Paleta de cores.

Formou-se assim, a paleta de vinte e quatro cores, apresentada na Figura 10, onde os pigmentos são mostrados na extremidade esquerda, seguido à direita de uma amostra do compósito na sua cor natural, sem pigmentação. Mais à direita estão quatro amostras, com a pigmentação gradual. Buscou-se aplicar os pigmentos de forma que preservasse parte da sua textura natural, mesmo nas amostras com maior quantidade de pigmentação.

3.3 Aplicação da Paleta em um Produto

Como aplicação prática da paleta de cores, foi planejado o desenvolvimento de um produto simples, que fosse capaz de expressar sua viabilidade por explorar o maior número das cores exibidas pela mesma. Para isso foi idealizado um painel para uso em superfícies planas, como tampos, bandejas etc., montado a partir de pequenas peças, como um mosaico, no qual cada célula terá uma cor diferente das vizinhas.



Figura 11: Aplicação conceitual da paleta de cores

O conceito do produto se inspirou na colmeia das abelhas, como mostra a figura 11, na qual cada célula hexagonal foi concebida com 20 mm de lado e 05 mm de espessura. Foram idealizados três painéis baseados na cor natural, em cores quentes e em cores frias, de acordo com a paleta. O painel de cor natural estudou a configuração cromática a partir da cor marrom original, considerada a cor básica do MDF e algumas variantes, mais escuras e mais claras, com o acréscimo de pigmento branco ou preto. Os dois outros painéis agruparam as paletas de amarelo e vermelho para o exemplar de cores quentes e verde e azul para o de cores frias.



Figura 12: Etapas de produção do molde.

Para a produção das células foi escolhido o processo do molde aberto de borracha de silicone, onde é usada apenas uma das suas superfícies, na qual a peça será moldada e/ou laminada. Esse tipo de molde se mostrou o mais adequado, nos custos e na simplicidade, para ser usado na construção de um protótipo. A borracha de silicone para moldes é um elastômero que se apresenta na forma líquida e é curada à temperatura ambiente, com o uso de catalisadores.



Figura 13: Etapas de produção das células.



Figura 14: Painéis finalizados (fotos em escala reduzida).

O molde foi produzido seguindo a técnica básica para moldes em borracha de silicone sugeridos por Diez (2006) e pela IBEX (2015). Para essa etapa foram preparadas as matrizes hexagonais em papel cartão, de acordo com as medidas já mencionadas, o que incluiu a impressão de um gabarito de corte com a planificação das células e o uso de técnicas de cartonagem. Foram produzidos três modelos, sobre os quais foi derramada a borracha de silicone. A figura 12 apresenta da esquerda para direita, partes do processo de produção do molde.

As células foram produzidas por batelada, três de cada vez. Para isso foram misturados, em valores aproximados, 30g de resina com 20% de resíduo de MDF (7g), além do catalisador e dos pigmentos. O compósito foi então vertido no molde e desmoldado após cura, em cerca de 2 horas. O processo de moldagem é mostrado na figura 13.

O painel foi montado com a colagem das células pelos lados, usando cola tipo epóxi. A estrutura foi reforçada com uma camada de fibra de vidro, laminada no verso. O resultado final é apresentado na figura 14.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A experiência foi finalizada com uma análise teórica dos resultados alcançados. Para isso foi necessário dividir esse etapa em duas: a primeira se refere à paleta de cores e a outra, ao processo e produto moldado.

4.1 Quanto à Paleta de Cores

O método usado na elaboração da paleta, proposto por Harrison (1994, P. 142), revelou-se suficiente para testar a potencialidade estética do resíduo de MDF, revelando, desta forma, algumas características e alguns limites. Observou-se que, para cada grupo de cor, houve um resultado diferente quanto à variação entre as amostras sem pigmento e as últimas amostras, com maior quantidade de pigmento. Esse fato pode ser explicado em parte devido à influência da cor do resíduo, marrom acinzentado, com cada um dos pigmentos, que exigiu quantidades diferenciadas dos mesmos para se alcançar o resultado gradual esperado. Em parte também por que alguns pigmentos têm melhor tingimento que outros, exigindo menores quantidades na aplicação, a exemplo do preto e ao contrário do azul e do verde, enquanto o vermelho foi o mais difícil de dosar exigindo mais cuidado na mistura.

Notou-se também que os pigmentos branco, preto e os de cores quentes, amarelo e vermelho, foram os mais fáceis de definir os níveis intermediários de cor, o contrário das cores frias, o azul e o verde. Ainda assim observou-se a grande influência da cor original nas cores da paleta, principalmente nas cores frias, mais no azul do que o verde, que não ficaram com saturação como observada nas demais cores. Segundo Harrison (1994, P. 142), isso pode ser explicado por ter as cores a propriedade ótica de se inclinar em direção a outras, podendo estas se aproximar ou mesmo de se afastar oticamente das demais, criando cores intermediárias mais definidas ou não, que é o caso das misturas da cor marrom inicial com os pigmentos sintéticos, durante o desenvolvimento da paleta.

Do ponto de vista da sustentabilidade, materiais celulósicos como as madeiras e os papeis, de um modo geral, possuem capacidade de reciclagem limitada por causa da degradação das fibras, que se decompõem a cada ciclo dos processos (YOUNG, 2001). Portanto a geração de soluções que aumentem as possibilidades e alternativas de reciclagem, como uma paleta de cores, vai ao encontro dos requisitos do eco-design, que prevê o uso de materiais reciclados sempre que possível (TEIXEIRA, CÉSAR, 2005), apresentando assim novas características e atributos que agregam valor ao mesmo,

buscando, assim, afastar a possibilidade do seu descarte.

4.2 Quanto ao Processo e o Produto.

O processo de molde em borracha de silicone é bastante usado e difundido, indo desde produções artesanais e alcançando processos industrializados (DIEZ, 2006). Esse processo e seus similares são essencialmente manuais ou semi-manuais nos quais apenas uma das superfícies do molde é usada na fabricação da peça, não havendo, portanto, o contramolde (MANISH RESINS & POLYMERS, 2008). São fáceis de produzir e manipular, apesar das desvantagens da geração de rebarbas, pouco controle da espessura das paredes da peça em produção e da emissão de vapores orgânicos voláteis (TEIXEIRA, 2005).

Os painéis foram moldados rapidamente e sem dificuldades, sugerindo uma facilidade de manipulação do resíduo de MDF como matéria prima, sendo aproveitados 100% da quantidade do mesmo disponibilizado para a moldagem. Esse resultado pode ser considerado similar ao alcançado por Teixeira (2005), quando elaborou um compósito análogo, no qual foi usado como resíduo particulado a serragem de madeira sólida, além da resina termofixa de poliéster. A moldagem dos três painéis mostra o potencial estético do compósito, sendo as combinações escolhidas apenas algumas das muitas que podem ser desenvolvidas.

Por outro lado, o processo de molde em borracha de silicone e a forma geométrica em pequenas dimensões, no entanto, apesar de terem alcançados seus objetivos, limitaram-se à produção de peças fáceis de serem moldadas e desmoldadas, não expondo, portanto as dificuldades de se produzir peças maiores e com formas mais complexas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto do painel colorido alcançou êxito ao usar o compósito baseado no resíduo de MDF, podendo esse exemplo ser considerado como uma demonstração de alternativa viável para o aumento da eficiência ecológica, principalmente no contexto da reciclagem de resíduos industriais. Indo nessa direção, o uso do conceito da modularidade baseado nas colmeias das abelhas e o uso da paleta de cores aumentou a possibilidade de customização do mosaico do painel, o que pode ser um atrativo como solução plástica no design de novos produtos.

Um dos ganhos desta pesquisa foi a geração da paleta de cores, desenvolvida com a adição mínima de pigmentos de uso genérico para resinas termofixas. Esse resultado permite ampliar as aplicações do compósito em novos produtos, devido o aumento das alternativas plásticas/estéticas.

Como proposta para novas pesquisas sugere-se primeiramente a ampliação da paleta de cores através de novas misturas e da adição de novos pigmentos. Sugere-se também a substituição da resina termofixa de poliéster por outras, de origem mais sustentável. Além disso, poderão ser experimentadas novas formas de produção, uso de outros tipos de molde, tal como os moldes fechados e o design de novos produtos, principalmente com maiores dimensões, usando o compósito aqui demonstrado.

REFERÊNCIAS

- [1]. ABIMCI, Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. *O Setor de Produtos de Madeira Sólida no Brasil e Contribuições à Política Industrial*. Curitiba, PR. 2003. Disponível em: www.abimci.com.br.
- [2]. ABNT. *NBR 10.004 – Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004

- [3]. AYRILMISA N, KAYMAKÇIA A, GÜLEC T. Potential use of decayed wood in production of wood plastic composite. *Industrial Crops and Products*. 2015.
- [4]. BRASKEM. *Glossário de Termos Aplicados a Polímeros*. Boletim Técnico Nº 08 Camaçari, 2002.
- [5]. BROTHERS G. *Vacuum Bagging Techniques*. Gougeon Brothers Inc. Bay City. 2010
- [6]. CHEN RS et al. Biocomposites Based on Rice Husk Flour and Recycled Polymer Blend. *BioResources* 10(4), pp 6872-6885. 2015.
- [7]. CORREA CA. et al. Compósitos Termoplásticos com Madeira. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, nº 3, p. 154-165, 2003.
- [8]. DIEZ S.G. La tecnología de los elastómeros RTV (vulcanización a temperatura ambiente) y su aplicación en la escultura. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 7(2). Pp 127-141.
- [9]. EAST COST. *Adding pigment and Catalyst to Gelcoat*. 2011. [vídeo do YouTube] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=olYgtfPoSel> acessado em junho de 2016.
- [10]. EAST COST. *Fibreglass vacuum moulding*. 2009 [vídeo do YouTube] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=MWUxhC6-q0c> Acessado em junho de 2016.
- [11]. EASYCOMPOSITES. *Application of Uni-Mould Tooling Gelcoat*. 2016. Disponível em <https://system.na1.netsuite.com/core/media/media.nl?id=5151&c=3937524&h=111a16fb170a6e09b5d4> Acessado em junho de 2016.
- [12]. FIBER GLAST. *Pigments*. 2016. Disponível em <http://www.fibreglast.com/category/pigments> Acessado em junho de 2016.
- [13]. FIBERGLASS WAREHOUSE. *Adding Pigment to Gel Coat or Fiberglass Resin*. 2016. [vídeo do YouTube] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=B-8wZjgZnJc> Acessado em junho de 2016.
- [14]. FIKSEL J. *Design for Environment: A Guide to Sustainable Product Development*. McGraw-Hill, New York, 2009
- [15]. GISPERT C. et al. *Curso Prático de Pintura 4 - Mezcla de Cores, Técnicas Mixtas*. Ediciones Lema. Barcelona. 2002
- [16]. GNOATTO GB. *Mercado de Painéis de Madeira Reconstituída*. IBÁ. 2014.
- [17]. GOMES FJ. *Design do Objeto. Bases Conceituais*. Escrituras. São Paulo. P. 97. 2006
- [18]. HARRISON H. *Técnicas de desenho e pintura*. Ed. Edelbra. Erechim. P. 142. 1994
- [19]. HILLIG É et al. Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (hdpe) e serragem da indústria moveleira. *Revista Árvore*, v.32, n.2, pp.299-310, 2008.
- [20]. IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. *Cenários Ibá Edição 15*. Brasília. 2015-1.
- [21]. IBA. Indústria Brasileira de Árvores. IBA 2015-2. Disponível em http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf. Acessado em setembro de 2015.
- [22]. IBEX, Borracha de Silicone. 2015. Disponível em: <http://www.ibexquimica.com.br/portal/images/literatura/ApostBorrachaSilicone.pdf> Acesso em 22 de janeiro de 2016
- [23]. KIPERSTOK A, MARINHO M. *Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição: Uma Contribuição Ao Debate Regional. Bahia Análise & Dados*, SEI, V.10, nº4, p271-279, Março, 2001.
- [24]. KIPERSTOK A. et al. *Prevenção da Poluição*. SENAI/DN, Brasília, 2002.
- [25]. KLYOSOV AA. *Wood-plastic composites*. Wiley. New Jersey. 2007
- [26]. KOLORTEK. *Pigmentos da substância corante da resina da fibra de vidro*. 2017. Disponível em http://pt.made-in-china.com/co_kolortek/product_Fiberglass-Resin-Colorant-Pigments_hrigyihou.html Acessado em junho de 2016.
- [27]. LOBACH B. *Design industrial: Bases para a configuração dos produtos industriais*. Ed. Edgard Blücher. São Paulo. P. 156. 2000
- [28]. MANISH RESINS & POLYMERS. *Private Limited FRP Process*. 2008. Disponível em: <http://www.frpawmaterial.com/frp-process.html>. Acesso em 7 de janeiro de 2016.
- [29]. MANZINI E. VEZZOLI C. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. Edusp, São Paulo, 2002.
- [30]. MATOS BD et al. Properties of polypropylene composites filled with a mixture of household waste of mate-tea and wood particles. *Construction and Building Materials*. 2014.
- [31]. OWENS CORNING. *ABC do Fiberglass*. Owens Corning Rio Claro, 1999. Disponível em <http://polglass.com.br/ABC%20do%20FIBERGLASS.pdf> Acessado em junho de 2016.
- [32]. OWENS CORNING. *Compósitos Processos*. 2012. Disponível em <http://www.owenscorning.com.br/pt-br/compositos-processos-home> Acessado em junho de 2016.
- [33]. PASSATORE CR. *Química dos polímeros: 3º modulo*. Tiquatiara. 2013.
- [34]. PAULESKI DT et al. Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (pead) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 2, pp. 157-170, 2007.
- [35]. PIVA RD. *Dossiê Técnico. Processo de fabricação de móveis sob encomenda*. SENAI-RS. Centro Tecnológico do Mobiliário – CETEMO. 2006.
- [36]. REMADE. *Consumo de Madeira Serrada no Brasil - milhões (m³)*. Portal Remade, 2016. Disponível em [http://www.remade.com.br/banco-dados/126/madeira/consumo-de-madeira-serrada-no-brasil---milhoes-\(m%C2%B3\)](http://www.remade.com.br/banco-dados/126/madeira/consumo-de-madeira-serrada-no-brasil---milhoes-(m%C2%B3)) Acessado em maio de 2016.
- [37]. RODRIGUES IMP. *Os plásticos na escultura*. Universidade de Lisboa. Faculdade de belas artes. 2013. Dissertação de mestrado.
- [38]. ROMAN Jr C. et al. Análise do comportamento mecânico de compósito de polipropileno/fibra de madeira com polipropileno reciclado em aterro sanitário. *Revista Iberoamericana de Polímeros* 16 (6). 2015.
- [39]. SARON C, FELISBERTI MI. Ação de colorantes na degradação e estabilização de polímeros. *Química Nova*, Vol. 29, No. 1, 124-128, 2006.
- [40]. SAW SK, DATTA C. Thermomechanical properties of jute/bagasse hybrid fibre reinforced epoxy thermoset composites. *BioResources* 4(4), pp 1455-1476. 2009.
- [41]. SILVA FP. ROESE PB. KINDLEIN JÚNIOR W. Texturização de Produtos Poliméricos e sua Dependência com a Seleção de Materiais e os Processos de Fabricação.

- Científica Ciências Exatas e Tecnológicas*. v. 8, n. 1, p. 65-68. 2009.
- [42]. TEIXEIRA GT, SANTOS JUNIOR EC, COPQUE SC. Aplicação de conceitos da ecologia industrial no design de produtos em eco-compósito de resíduos particulados e pedaços descartados de madeira. *Revista Gestão Industrial*, v. 12, n. 01: p. 200-219, 2016.
- [43]. TEIXEIRA M.G. CÉSAR. S.F. Ecologia Industrial e Eco-design: requisitos para a determinação de materiais ecologicamente corretos. *Revista Design em Foco*, Nº 02. 2005.
- [44]. TEIXEIRA MG. *Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira*. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Limpas). Universidade Federal da Bahia UFBA. Salvador, 2005.
- [45]. TEIXEIRA MG. Eco-design de painel celular usando compósito de resíduos particulados de mdf e resinapoliéster. *Anais do 10º Interculte*. Pp. 77-90 UNIJORGE. Salvador. 2015.
- [46]. TORQUATO LP. Produção de painéis pode chegar a 12 milhões de m³ em dez anos. *Revista da Madeira* Nº124 - Julho de 2010.
- [47]. TREIN FA. SANTOS A. Material compósito de resíduos de MDF e MDP estruturados em matriz de PVC para produtos alinhados pelo eco-design. *Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Design Sustentável*. 2016 vol. 2 num. 5.
- [48]. USA. U.S. (2013) Consumer Product Safety Commission. An update on formaldehyde. *Publication 725*.
- [49]. USA. U.S. Consumer Product Safety Commission. An update on formaldehyde. *Publication 725*. CPSC. 2013.
- [50]. VALENÇA ACV, ROQUE CA, SOUZA PZ. MDF. Remade 2016.
- [51]. WPC CORPORATION. *EINWOOD® Wood Plastic Composite: a material of the future*. Tokyo, 2016.
- [52]. YOUNG S.B. et al. *Eco-efficiency and Materials: Foundation Paper*. Five Winds International. Ottawa 2001..