

BORRA DE CAFÉ COMO PIGMENTO PARA COMPÓSITOS DE RESÍDUOS CELULÓSICOS COM MATRIZ TERMOFIXA

Marcelo G. Teixeira

Correio Eletrônico: marcelomgt@gmail.com

Recibido: Agosto de 2024 Aceptado: Septiembre de 2024

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo demonstrar o reaproveitamento da borra de café, na forma de pigmento para compósito de fibras vegetais/celulósicas com matriz polimérica usando um processo com poucas etapas. Os resíduos usados foram o bagaço de cana, a casca de amendoim cozido e a serragem de MDF. O processo foi dividido em duas partes, a primeira a coleta e preparação da borra e dos resíduos, e em seguida a formulação dos compósitos e moldagem de corpos de prova com 0,5g, 1g, 1,5g e 2g de borra de café na sua composição. Os resultados mostraram que a borra de café pode ser usada como pigmento, com melhor resultado em compósitos com cores iniciais mais claras, mostrando possibilidade de uso usado em várias aplicações e utilidades.

Palavras Chave: eco-compósito, borra de café, pigmento.

ABSTRACT

This research aims to demonstrate the reuse of coffee grounds as pigment for a composite of vegetable/cellulose fibers with a polymer matrix using a process with few steps. The waste used was sugarcane bagasse, boiled peanut shells and MDF sawdust. The process was divided into two parts: the first was the collection and preparation of the grounds and waste, followed by the formulation of the composites and molding of test specimens with 0.5g, 1g, 1.5g and 2g of coffee grounds in their composition. The results showed that coffee grounds can be used as a pigment, with better results in composites with lighter initial colors, showing the possibility of being used in various applications and utilities.

Key Words: eco-composite, coffee grounds, pigment.

1. INTRODUÇÃO

O número de pesquisas sobre eco-compósitos e compósitos sustentáveis, especificamente os que usam fibras vegetais/celulósicas como reforço ou carga, tem aumentado nos últimos anos, revelando um grande interesse nos potenciais deste tipo de material. A maioria dos títulos indicam pesquisas abordando as características físicas e mecânicas deste tipo de compósitos, tais como absorção de água ou resistência a flexão, além de abordar também as possibilidades de misturas com fibras vegetais de várias origens com matriz termoplástica e/ou termofixa. Uma busca rápida no *Scholar Google* usando o termo *vegetable fiber polymer composites* revelou centenas de itens bibliográficos, entre artigos,

livros, etc., enquanto em outra busca, dessa vez no periódico especializado *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, usando as palavras-chave: *vegetable fiber composites*, revelou um artigo datado de 1997 [1], ou seja, de 27 anos atrás.

Poucos trabalhos abordam, entretanto, a aplicação de pigmentos, ou maneiras de alterar cores ou texturas com fins estéticos, na busca de obter maior valorização destes tipos de material [2]. Por outro lado, a grande geração de resíduos celulósicos, tanto de origem agrícola, industrial ou mesmo doméstico, levanta crescente preocupação quanto aos problemas ambientais, principalmente quando existem poucas alternativas para o seu reaproveitamento. Serragens de madeira de vários tipos, bagaço, cascas e palha de várias espécies de vegetais, ainda são vistos e tratados simplesmente como lixo, indo preferencialmente para os aterros sanitários, perdendo, assim, a oportunidade de se transformar em outras utilidades.

Um exemplo de geração deste tipo de resíduos é a produção de cana de açúcar, que tem no etanol e açúcar seus principais produtos. Cruz [3] comenta que, para cada tonelada de cana processada, cerca de 280 kg é palha e outro tanto é de bagaço, sobrando, portanto, 440 kg de caldo (matéria-prima para açúcar e etanol), ou seja, mais de 50% são de resíduos. Apesar de poderem ser reaproveitados como combustível na própria usina, isso não se aplica quando o consumo é feito em outras condições, tais como em lanchonetes, em ambulantes urbanos ou no ambiente doméstico. Essa informação é corroborada por Freitas [4], quando se refere aos processos industriais da madeira, o qual afirma que "o aproveitamento de toda a árvore pelas indústrias madeireiras, está em torno de 30% a 60%, variando de empresa para empresa".

A pesquisa aqui apresentada tem como objetivo mostrar a possibilidade do uso da borra de café como pigmento para alterar as cores de compósitos de matriz termofixa reforçada com resíduos celulósicos de diferentes origens, os quais receberam preparos distintos. Como matriz polimérica foi usada a resina termofixa de poliéster e os resíduos foram o bagaço de cana, serragem de MDF e casca de amendoim cozido. Esta pesquisa se justifica pela oportunidade de se mostrar como aumentar o valor

estético dos compósitos de resíduos celulósicos, buscando torna-los mais agradáveis e propensos a serem mais bem aceitos como matéria prima para novos produtos, demonstrando ser uma alternativa ecológica para esse tipo de resíduo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi considerada, neste experimento, a aplicação de um preparo mínimo nos resíduos, contendo apenas a secagem, trituração e peneiramento, como proposto em Teixeira [5], ou mesmo a aplicação do resíduo *in natura*, ou seja, sem nenhum preparo, como proposto em Teixeira [6]. Essa decisão se baseia nos princípios da redução dos impactos ambientais associados aos processos produtivos [7], os quais, sem a aplicação dos mesmos, seriam gastos mais recursos naturais e gerariam mais resíduos na medida em que se seriam aumentadas as etapas e os processos produtivos [8].

2.1. Coleta e preparação dos resíduos

Os resíduos celulósicos usados nesta pesquisa tiveram diferentes origens e preparação. Optou-se por uma diversidade de resíduos, como propostos por Teixeira, Santos Jr e Couto [9], tais como bagaços, cascas, palhas, serragens, etc. como reforços e/ou cargas na formulação de compósitos, por se apresentarem disponíveis, com baixo custo, ou mesmo oferecidos gratuitamente, bastando apenas a sua coleta no local da produção. Para essa experiência foram coletados a borra de café, a serragem de MDF, cascas de amendoim cozido e bagaço de cana. Esses resíduos foram escolhidos por se apresentarem oportunamente disponíveis.

2.1.1. Borra de café

A borra de café foi coletada após o preparo domiciliar de café de uma manhã, cerca de 50g. Após o preparo do café, a borra se apresentava encharcada de água que foi retirada após secagem de 30 minutos em fogo médio num forno de fogão doméstico pré-aquecido, cerca de 170°C, se apresentando totalmente seca após este processo e apta para ser aplicada nos compósitos.

2.1.2. Casca de amendoim

Foram coletadas depois do consumo das suas sementes cozidas. Assim como a borra de café, se apresentavam encharcadas, mas quase totalmente íntegras. Foram secadas em forno doméstico em fogo alto, cerca de 200°C, durante 30 min. Após a secagem, as cascas foram trituradas até se apresentarem como um pó fibroso, usando para isso um liquidificador doméstico, acionado durante 3 min. Por último, as cascas trituradas foram peneiradas com peneira comum de cozinha doméstica, separando as partes mais grosseiras que não foram usadas no experimento.

2.1.3. Bagaço da cana-de-açúcar

Foi obtido da empresa Agras Indústrias do Vale do São Francisco (AGROVALE), localizada no estado da Bahia, Brasil. O bagaço se apresentava ainda úmido e foi secado em estufa industrial durante 3 horas com temperatura de 105°C. Foi posteriormente triturado com liquidificador industrial durante 3 minutos, resultando em um pó fibroso e áspero.

2.1.4. Serragem de MDF

Foi coletada na oficina de madeira da Universidade do Estado da Bahia, no chão da oficina e ao redor das máquinas. Esse resíduo se apresentava como um pó fibroso na cor marrom acinzentada uniforme, leve e macio ao toque, quase esponjoso. Devido a essas características optou-se por não realizar processos preparatórios, sendo usado *in natura*, tal como foi coletado.

Os resíduos já preparados são mostrados na figura 01:

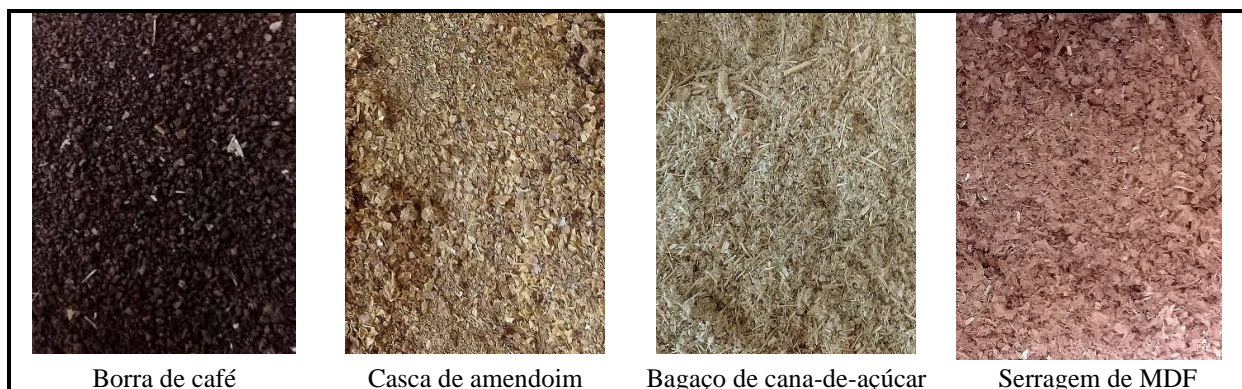


Figura 01 – Resíduos celulósicos já preparados

2.2. Mistura dos traços e moldagem do compósito

Foi previsto a moldagem de 1 corpo de prova para cada traço neste experimento, cada um destes exemplificando uma cor. Os corpos de prova foram construídos a partir de um molde de silicone, com cavidades medindo 5 x 5 cm, de lado e 5 mm de espessura, construído com base nas sugestões feitas pela Redelease [10] e pela Silaex [11]. O uso da borracha de silicone se justifica pela facilidade de produção do molde e de seu uso, apresentando uma superfície auto desmoldante, o que facilita a retirada dos corpos de prova do mesmo [12].

O silicone usado foi o adesivo comum, um material genérico, fácil de ser encontrado em lojas de construção, vendido em tubos de 250g, comumente usados para colar vidro, metal e realizar calafetagens. Esse tipo de silicone foi escolhido por ser acessível e fácil de ser trabalhado e por ter boa durabilidade e resistência.

A resina usada como matriz foi a Centerpol C400, uma resina termofixa orto-ftálica de alta viscosidade para uso geral, distribuída pela Center Glass, localizada na cidade de Salvador, Bahia, Brasil, que tem característica de ser translúcida quando curada. A cura foi realizada com o acelerador de cobalto a 1% e catalizador MEK (peróxido de metil-etil-cetona) à 2%, conforme orientação do fornecedor. O uso do acelerador de cobalto se fez determinante, pois sem esse componente a cura se daria de forma

muito lenta, levando dias para endurecer. Com o uso do acelerador, entretanto, a cura de todos os traços se completou em 1 hora aproximadamente.

Os traços foram determinados a partir da proposta de Teixeira [2], com 85% de matriz termofixa e 15% de resíduo em cada corpo de prova, com massa de, aproximadamente, 15g cada um. A essa mistura básica foram acrescentados incrementos de 0,5g de borra de café conforme a tabela 01, na qual X0 significa que não foi usada a borra, deixando o traço na sua cor original, e os traços X1 a X4 significando a quantidade de borra acrescentada de 1 a 4 vezes sua massa. O traço Referência representa a matriz pura, sem a mistura com os resíduos, para permitir a verificação da mudança de cor com a borra pura. A tabela 01 mostra a nomenclatura dos traços deste experimento.

Tabela 01 – Traços dos compósitos

Todos os traços com 85% de matriz termofixa + 15% de resíduo, com massa aproximada de 15g.					
Acréscimo de borra de café de 0,5g (3% aprox.) a cada traço, sendo X0 sem borra até X4 ou 2g (13% aprox.) de borra.					
Borra de café	0,0g X0	0,5g X1	1,0g X2	1,5g X3	2,0g X4
RESÍDUO	NOMENCLATURA DOS TRAÇOS				
Referência	RX0	RX1	RX2	RX3	RX4
Bagaco de cana	BX0	BX1	BX2	BX3	BX4
Casca de Amendoim	AX0	AX1	AX2	AX3	AX4
Serragem de MDF	MX0	MX1	MX2	MX3	MX4

Para a dosagem da borra de café, foi construído um medidor com aproximadamente 1,0 cm³, podendo carregar 0,5g deste resíduo, ou 3% em relação à massa total do corpo de prova, também em valor aproximado. Sua função foi padronizar o acréscimo da borra em cada traço conforme a tabela 01.

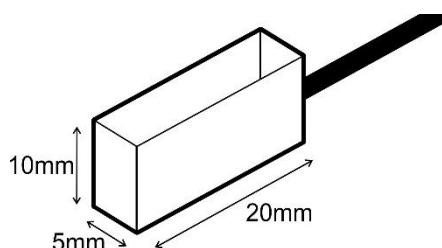


Figura: medidor para a borra de café, com carga de aproximadamente 0,5g





A moldagem foi realizada sem dificuldade, mas foi observada a necessidade de acrescentar cerca de 1 a 2g de resina para corrigir a mistura nos traços X4, devido a maior quantidade de borra de café. A

cura se deu dentro do tempo esperado, levando em consideração o uso do acelerador de cobalto a 1%, cerca de 8 minutos para começar a polimerização e 1 hora para o completo endurecimento.

3. RESULTADOS

Os corpos de provas finalizados foram postos em linha, da esquerda para a direita de acordo com a quantidade crescente de borra de café acrescentada. O resultado é visto na tabela 02 e será analisado do ponto de vista do olho humano, representando, assim a percepção dessas cores em algum produto hipotético, fabricados com esses compósitos.

Tabela 02– Resultados

Referência	 RX0RX1RX2RX3RX4
Bagaço de cana	 BX0BX1BX2BX3BX4
Casca de Amendoim	 AX0AX1AX2AX3AX4
MDF	 MX0MX1MX2MX3MX4

Como visto, o resultado foi diferente para cada resíduo, com a mudança de cor sendo mais evidente nas linhas dos traços RX (referência) e BX (bagaço de cana). Estes traços apresentam cores iniciais claras e que foram escurecendo à medida que foi sendo acrescentada a borra, apresentando então, grande contraste principalmente entre os traços das extremidades. Os traços RX3 e RX4 apresentam a saturação da cor da borra, sendo que esse último ficou completamente opaco. Todos os demais traços com resíduos já eram opacos, mudando apenas as cores de acordo com o acréscimo do pigmento. Os traços do bagaço de cana foram os que apresentaram melhor gradiente de contraste a cada acréscimo da borra; ficando visível a diferença de cor entre os traços. Percebe-se, portanto, que os traços BX, por serem mais claros, podem ser escurecidos de forma mais gradual que os demais.

Já nos traços baseados na casca de amendoim (AX) mostraram um contraste menor entre os traços sendo que os traços AX2 e AX3 ficaram quase iguais entre si, a mesma observação podendo ser aplicada aos traços AX3 e AX4. Por outro lado, quase não houve diferença entre os traços de serragem de MDF (MX) que receberam o pigmento, ou seja, os traços MX2 ao MX4 ficaram bastante parecidos indicando a pouca efetividade do pigmento de borra de café quando misturado com esse resíduo. Entretanto observa-se uma diferença, mesmo que pouca entre os traços iniciais AX0 e MX0 para os demais traços respectivos.

4. DISCUSSÃO

4.1. Compósitos sustentáveis

Segundo a ASTM D 3878 – 98 [13], os compósitos são materiais de fabricação que consistem de pelo menos, dois componentes: a matriz, geralmente construída de materiais poliméricos, e o agente de reforço, que geralmente é composto de material fibroso (fibras longas e/ou curtas). Esse reforço contribui para a resistência mecânica do material. Já a matriz tem a função de união das fibras, além de protegê-las do ambiente exterior [14]. “Os compósitos são constituídos por diversos tipos de materiais, em que, tanto a matriz e/ou o reforço podem ser de origem sintética e/ou natural” [15].

O eco-compósito surge “quando seus componentes são oriundos de fontes renováveis, abundantes e não tóxicas, podendo ser reciclados e, alguns, biodegradáveis” [5]. As fibras vegetais/celulósicas trazem vantagens de serem atóxicos, leves, baixo custo de produção e aquisição, baixo consumo de energia na produção, além da captura de carbono. Apesar dessas vantagens, são consideradas características limitantes pelo fato de não poderem ter seu desempenho físico/mecânico equiparado com outros compósitos, tais como os PRFV (plásticos reforçados com fibras de vidro) e de ter elevada absorção de água [15], problema que, entretanto, pode ser contornado se o resíduo for protegido pela matriz, tal como demonstrado por Teixeira [5].

Apesar disso, um compósito pode ser ainda mais ambientalmente sustentável se seus componentes forem provenientes de resíduos em vez de ser produzido especificamente para esse fim [9] e isso inclui aqueles resíduos oriundos tanto de processos da agroindústria, quanto dos consumidores finais, resíduos vegetais/celulósicos como cascas, bagaço, palha, serragem, caules, folhas e similares.

4.2. A borra de café como pigmento de eco-compósitos

Do ponto de vista do Design Industrial, um material de fabricação, além de possuir atributos físicos/mecânicos que o habilite cumprir sua função física, deve apresentar, também, atributos plásticos (estéticos) para torna-lo o produto atrativo ao consumidor. Assim, ao adicionar cores aos polímeros pode-se criar uma variedade de tonalidades semelhantes a materiais naturais [16], tornando-os esteticamente atrativos.

Segundo Teixeira [17], “os compósitos de matriz polimérica têm como vantagem o fato de poder ser moldados na cor do produto. Para isso são usados aditivos colorizantes que transferem ao polímero cores e opacidades variadas”. Na pigmentação para compósitos tradicionais, tal como o PRFV, são usados tanto pastas coloridas de pigmentos orgânicos quanto materiais inorgânicos, que se apresentam como um particulado fino, tal como dióxido de titânio, negro de fumo [18].

A borra de café, por outro lado, já foi usada em formulações de compósitos biodegradáveis (bio-compósitos), tais como mostrados nas pesquisas de Mei e Oliveira [19] ou na de Tarazona [20]. Não

foi explorada, entretanto, a possibilidade de ser usada como pigmento nessas formulações. No caso da pesquisa aqui relatada, a borra teve o papel unicamente como agente modificador da cor original do compósito, aplicada em quantidades crescentes. O seu desempenho nesse papel, como visto, dependeu muito das cores iniciais dos compósitos, tendo os traços mais claros apresentado melhor contraste e definição de tons cromáticos, à medida que se acrescentava a borra.

Conforme Israel Pedrosa [21] tom ou matiz é aquilo a que normalmente denominamos de cor, tal como verde preto ou azul, enquanto contraste cromático é a percepção da mudança no tom, luminosidade e demais características, que torna uma cor distinta da outra, ainda que seja uma diferença pequena. Considera-se, portanto, que os compósitos se apresentavam, inicialmente em tons distintos, alguns deles próximos, tal como as linhas dos traços de amendoim e de MDF, enquanto o de bagaço de cana apresentando um tom mais claro e mais distante dos demais. A borra de café atuou exatamente como modificador do contraste, deixando-os mais escuros à medida que ia sendo acrescentada. O contraste, entretanto, foi menor nos traços em que já se apresentavam, inicialmente, escuros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse experimento demonstrou vias alternativas de reaproveitamento da borra de café como pigmento de eco-compósitos baseados em resíduos vegetais/celulósicos. Como foi visto, o uso da borra de café para este fim é possível, mas é mais acentuado em compósitos com cores iniciais mais claras. Entretanto, foi testado em apenas três resíduos diferentes, o que pode ser considerado como um número insuficiente para o objetivo aqui proposto. Então a primeira sugestão é o teste com outros resíduos celulósicos, de origens diferentes, ou mesmo fazendo uma mistura entre eles, buscando aumentar o número de cores. Sugere-se também uma busca por outros materiais residuais que tenham algum potencial como pigmento, com o objetivo de aumentar a paleta de cores possíveis. Finalmente, sugerem-se testes para o levantamento de possíveis alterações nas propriedades físico/mecânicas dos compósitos pigmentados com borra de café.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Gassan J., Bledzki A. K. (1997) The influence of fiber-surface treatment on the mechanical properties of jute-polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 28(12) [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(97\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(97)00042-0)
- [2] Teixeira MG (2017) Desenvolvimento e aplicação de paleta de cores em um produto feito de compósito de resíduo particulado de MDF com poliéster termofixo. *Rev. Iberoamericana de polímeros*, 18(2). <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/06/2017-18-2-teixeira.pdf>
- [3] Cruz SH da. (2008) Bagaço e palha da cana são fontes de celulose para gerar álcool. *Visão agrícola* nº8 <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA08-materia-prima03.pdf>
- [4] FREITAS, Luiz Carlos de. (2000) *A baixa produtividade e o desperdício no processo de da madeira: um estudo de caso*. [Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina] <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/78577>
- [5] Teixeira MG . (2005) *Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira*. Salvador: [Dissertação de mestrado Universidade Federal da Bahia]. <https://www.passeidireto.com/arquivo/18770376/aplicacao-de-conceitos-da-ecologia-industrial-para-a-producao-de-materiais-ecolo>
- [6] Teixeira MG (2016) Compósito de resíduo particulado de MDF com poliéster termofixo: concepção e propriedade de cópia de texturas. *Rev. Iberoamericana de polímeros* 17(5). <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2016-teixeira.pdf>
- [7] Manzini, E., Vezzoli, C. (2002) *O desenvolvimento de produtos sustentáveis. Os requisitos ambientais dos produtos industriais*. Edusp
- [8] Kiperstok, A.et al. (2002) *Prevenção da Poluição*. SENAI/DN,
- [9] Teixeira MG, Santos Junior EC, Copque SC. (2016) Aplicação de conceitos da ecologia industrial no design de produtos em eco-compósito de resíduos particulados e pedaços descartados de madeira. *Revista Gestão Industrial*, 12(01) 200-219 <https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/3190/2576>
- [10] Redelease. (25 de setembro 2024) *Borracha de silicone*. [tutorial] https://drive.google.com/file/d/1_ohA9jggFfSYqK1S9iqUEMaIb56Bcgoa/view
- [11] SILAEX. (25 de setembro 2024) *Guia Passo a Passo para Confecção de Moldes*. http://www.silaex.com.br/guia_passo_a_passo_.htm
- [12] Oliveira L.A.C. Teixeira M.G. (2021) Reaproveitamento de vidro de espelhos como carga inorgânica para compósito de matriz termofixa. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 22(4), <https://reviberpol.files.wordpress.com/2021/09/2021-22-4-180-188.pdf>
- [13] ASTM American Society for Testing and Materials. (2017). D 3878 – 98 Standard Terminology for Composite Materials. USA.
- [14] Pauleski D. T. et al. (2007) Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. *Ciência Florestal*, 17(2), <https://www.scielo.br/j/cflo/a/tT7PwxQsDjmzpm5jDhghPRF/?lang=pt>.
- [15] Calegari E.P. Oliveira B.F. de. (2016) Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. *Sustentabilidade em Debate*. 7(1). <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/142321>
- [16] Silva FP da. Roesse PB. Kindlein Júnior W (2009) Texturização de Produtos Poliméricos e sua Dependência com a Seleção de Materiais e os Processos de Fabricação, *Cient. Exatas Tecnol.*, 8(1) <https://mail.sumarios.org/artigo/texturiza%C3%A7%C3%A3o-de-produtos-polim%C3%A9ricos-e-sua-depend%C3%Aancia-com-sele%C3%A7%C3%A3o-de-materiais-e-os-processo>
- [17] Teixeira MG. (2017) Concepção de paleta de cores para compósito de resíduo particulado de MDF com poliéster termofixo e aplicação em um produto conceitual. *Design & Tecnologia*. 13. <https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/350/222>
- [18] Passatore CR. (2013) *Química dos polímeros: 3º modulo*. [Arquivo PDF] <http://www.profjuarezdenadai.yolasite.com/resources/APOSTILA%20QU%C3%8DMICA%20DOS%20POL%C3%8DMEROS%202011.pdf>

- [19] Mei L. H., Oliveira N. (2017). Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ϵ -caprolactona) e borra de café. *Polímeros*, 27(número especial), <https://www.scielo.br/j/po/a/xxcYkGhwwsT4WXTkBFpP4ng>
- [20] Tarazona E. R. T. (2017) *Aproveitamento da fibra de borra de café como material de reforço em compósitos com matriz de resina epóxi preparada a partir de óleo de cozinha usado*. [Dissertação de mestrado Universidade Federal de Minas Gerais]. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-APKPFT>
- [21] Pedrosa I. (2009) Da cor a cor inexistente. SENAC.