

PROPRIEDADES DE COMPÓSITO DE PP E CASCA DE ARROZ PARA PRODUÇÃO DE ARTEFATOS DECORATIVOS

PROPERTIES OF PP AND RICE HUSK COMPOSITE FOR THE PRODUCTION
OF DECORATIVE ARTIFACTS

Engenharias • 09/07/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/783101598](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/783101598)

Fernando Souza dos Reis¹

Rafael Soares²

Melissa da Rosa³

Ana Maria Coulon Grisa⁴

Mara Zeni Andrade⁵

Edson Luiz Francisquetti⁶

RESUMO

Atualmente, a produção de bens de consumo depende fortemente do uso de matérias-primas não renováveis (petróleo) e facilmente disponíveis (descartáveis). Isso, aliado ao rápido crescimento populacional, contribui para o acúmulo crescente de resíduos no meio ambiente. A busca por alternativas para reduzir o volume de materiais descartados é contínua e envolve a reutilização e a reciclagem de materiais, bem como o desenvolvimento de produtos sustentáveis. Uma maneira de minimizar o uso de matérias-primas não renováveis é incorporar fibras naturais como enchimento, visto que elas não só provêm de fontes renováveis e diversas, como também são abundantes e de baixo custo. A casca de arroz é um subproduto do cultivo do arroz, e estima-se que cerca de 20% da produção total seja composta por cascas, que geralmente são utilizadas como combustível para caldeiras ou deixadas no campo após a colheita. A matriz termoplástica mais utilizada é o polipropileno (PP), que, além do baixo custo e boa processabilidade, oferece boa resistência ao impacto, é atóxico, absorve pouca umidade e possui baixa densidade. Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um compósito de matriz de polipropileno com alta concentração de casca de arroz moída como carga, visando reduzir a porcentagem de matérias-primas não renováveis. Para tanto, as propriedades e características do compósito foram avaliadas por meio da determinação do tamanho de partícula, ensaios de tração e impacto, medição do índice de fluidez e análise termogravimétrica. Os compósitos também foram reprocessados para posterior reciclagem na produção de peças decorativas.

Palavras-chave: Polipropileno; fibras naturais; casca de arroz; compósito polimérico.

ABSTRACT

Currently, the production of consumer goods is heavily focused on the use of non-renewable (oil) and rapidly depleted (disposable) raw materials. This, combined with rapid population growth, is contributing to the growth of waste accumulation in the environment. The search for alternatives to reduce the volume of discarded materials is ongoing and involves reusing and recycling materials and developing sustainable products at around 20% of total production consists of husks, which are typically used to fuel boilers or left in the field after harvest. The most widely used thermoplastic matrix is polypropylene (PP), which, in addition to its low cost and good processability, has good impact resistance, is non-toxic, absorbs little moisture, and has a low density. Therefore, the objective of this work was to develop a polypropylene matrix composite with a high concentration of ground rice husk filler to reduce the percentage of non-renewable raw materials. To this end, the composite's properties and characteristics were evaluated through particle size determination, tensile testing, impact testing, flow index, and thermogravimetry. The composites were also reprocessed for future recycling in the production of decorative artifacts.

Keywords: Polypropylene; natural fibers; rice husk fibers; polymer composite.

1. INTRODUÇÃO

A busca por alternativas que diminuam o volume de materiais descartados é constante e passa pela reutilização e a reciclagem de materiais, bem como a busca e o desenvolvimento de produtos sustentáveis [1]. Dentro deste contexto os materiais compósitos com matriz polimérica e a fase dispersa composta por fibras sintéticas

também fazem parte dos materiais não amigáveis ao meio ambiente devido seu longo período de degradação associado a dificuldade de reciclagem. Uma alternativa para minimizar os efeitos de tais compósitos é a substituição das fibras sintéticas por fibras naturais, que podem ser provenientes de algodão, juta, farinha de madeira, casca de arroz, entre outras [2].

A casca do arroz é um subproduto do processamento, abundante e de baixo custo, estima-se que em torno de 20% do total da produção de arroz são as cascas. Devido ao alto teor de sílica presente nas cascas de arroz, estas podem causar um dano ao meio ambiente tanto na queima como no descarte incorreto [3]. Uma alternativa para minimizar os efeitos negativos da casca de arroz seria sua utilização como carga de reforço em compósitos com matriz polimérica. Porém, é necessário que haja eficácia na aderência entre fibra e matriz para que determinado produto seja eficaz.

Na incompatibilidade existente, a grande parcela se deve aos agrupamentos hidrofílicos presentes em sua estrutura química, pois esses grupos dão às fibras naturais um aspecto polar, enquanto os polímeros olefínicos são apolares, o que enfraquece a interação interfacial do compósito, convertendo-se em uma baixa capacidade de transferência de tensão da matriz para as fibras [4,5].

Em virtude disso, normalmente são utilizados dois métodos para melhorar a aderência entre fibra e matriz, um deles é o tratamento das fibras com NaOH (mercerização) no qual ocorre a quebra das ligações de hidrogênio que unem as cadeias de celulose, conferindo uma superfície mais rugosa que auxilia na adesão entre fibra e matriz. Já o outro método utilizado é o uso de um agente de acoplamento, normalmente um polímero (nesse caso PP)

modificado com anidrido maleico (PPAM), no qual os grupos funcionais anidrido difundem na matriz polimérica apolar, melhorando a adesão entre fibra e matriz [6].

Para Pereira et al. [7] o emprego dos polímeros termoplásticos convencionais como PE, PEAD e PP em compósitos poliméricos reforçados com fibra naturais ou sintéticas seguem aumentando. Uma das matrizes termoplásticas muito utilizadas é o polipropileno (PP), além de seu baixo custo e boa processabilidade, possui uma boa resistência ao impacto, é atóxico, absorve pouca umidade e possui baixa densidade.

O presente trabalho visa avaliar a máxima inserção de casca de arroz moída em uma matriz de polipropileno, como objetivo de reduzir o percentual de matéria-prima não renovável, no qual será feito o uso de um agente de acoplamento baseado em polipropileno modificado com anidrido maleico, que proporcionará uma maior adesão entre matriz e fase dispersa.

RESÍDUOS POLIMÉRICOS

O Brasil é o 4º país que mais gera resíduo polimérico no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. Estima-se que cada habitante brasileiro produza, em média, 1 quilo de resíduo polimérico por semana, contribuindo para um total anual de cerca de 11,3 milhões de toneladas [8]. Dentro desse volume aproximadamente de 10,3 milhões de toneladas são coletadas, o equivalente a 91% do que é gerado.

As centrais de triagem são responsáveis pelo processamento dos materiais poliméricos coletados por meio da coleta seletiva. Como resultado, em média, 7,7 milhões de toneladas de polímeros no

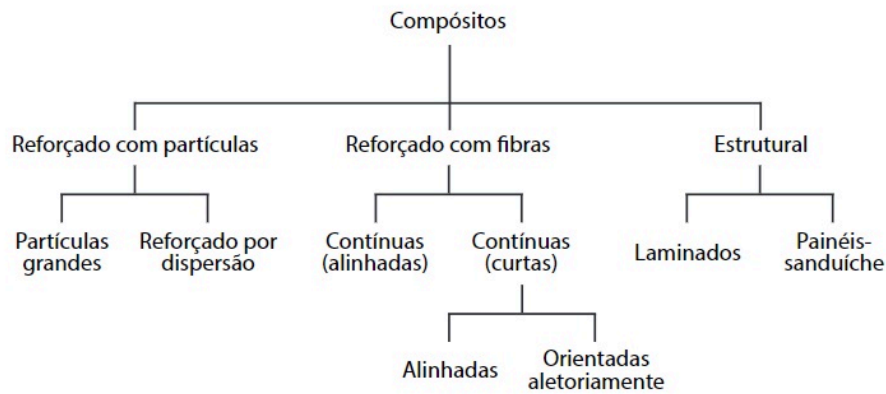
Brasil são enviados para aterros sanitários, e 2,4 milhões de toneladas são descartadas de forma inadequada, sem qualquer tipo de tratamento [8].

COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Compósitos são definidos como um material composto por dois ou mais materiais insolúveis entre si, que, quando combinados, apresentam propriedades diferentes das de seus constituintes individuais [9]. Uma forma de classificar o compósito é de acordo com a matriz, que pode ser cerâmica, metálica ou polimérica [10]. A resistência mecânica é fornecida pela fase dispersa (reforço) e pode ser classificada conforme ilustrado na Figura 1. No caso de fibras contínuas alinhadas na direção da solicitação mecânica, o reforço é máximo, enquanto na direção perpendicular, é minimizado. Para fibras descontínuas alinhadas, a resistência e a rigidez são consideráveis no sentido longitudinal [10].

As fibras são responsáveis pelo desempenho superior dos compósitos. Os compósitos poliméricos podem ser produzidos tanto com termorrígidos quanto com termoplásticos. No caso dos termoplásticos, apresentam maior resistência ao impacto, maior escala de produção e maior tenacidade à fratura.

Figura 1. Classificação dos compósitos com reforço [10]



No caso de fibras contínuas alinhadas na direção da solicitação mecânica, o reforço é máximo, enquanto na direção perpendicular, é minimizado. Para fibras descontínuas alinhadas, a resistência e a rigidez são consideráveis no sentido longitudinal. Já em fibras descontínuas com orientação aleatória, as propriedades físicas são independentes da direção [10]. As fibras são responsáveis pelo desempenho superior dos compósitos. Os compósitos poliméricos podem ser produzidos tanto com termorrígidos quanto com termoplásticos. No caso dos termoplásticos, apresentam maior resistência ao impacto, maior escala de produção e maior tenacidade à fratura.

Além disso, têm a capacidade de serem remodelados inúmeras vezes, pois, ao serem submetidos ao calor, podem ser fundidos novamente e endurecem ao resfria. As matrizes de polipropileno (PP) são amplamente utilizadas há muito tempo e, quando combinadas com fibras, encontram aplicações no setor automotivo, por exemplo. Geralmente, nesse tipo de compósito, são empregados métodos tradicionais de processamento, como extrusão e injeção [11].

CASCA DE ARROZ

No ano de 2022, o estado do Rio Grande do Sul, Brasil, colheu 7 milhões de toneladas de arroz, sendo um dos principais produtores

do país. O Brasil, por sua vez, colheu 10 milhões de toneladas, enquanto a produção mundial atingiu 778 milhões de toneladas [12]. Há alguns anos, o destino desses resíduos era o descarte em lavouras e rios [13]. A farinha de casca de arroz é um material lignocelulósico, que apresenta em sua composição química celulose, hemicelulose, lignina e sílica em diferentes proporções [14].

A casca de arroz é um resíduo gerado durante o beneficiamento do grão de arroz, sendo composta principalmente por sílica e lignina. Esses componentes conferem à casca características como alto tempo de decomposição, baixa densidade e alta abrasividade [15].

A alta absorção de umidade e a adesão interfacial entre o polímero e as fibras naturais são um problema para a compatibilização do sistema, pois o caráter hidrofílico das fibras é incompatível com caráter hidrofóbico da matriz polimérica. Desta forma, alguns tratamentos vêm sendo propostos, os quais dependem do tipo de fibra e da quantidade de celulose presente, onde os métodos de tratamentos empregados são químicos ou físicos, que vão reagir com a fibra [16].

Segundo RABELO et al. [17], outra forma de promover uma melhor compatibilidade entre a fibra e o polímero é por meio da modificação da matriz. A utilização de poliolefinas (nesse caso o PP) modificadas com anidrido maleico são os compatibilizantes mais utilizados, pois proporcionam uma adesão entre as duas fases (matriz e fase dispersa), atuando na interface das fases, permitindo ocorrer reações covalentes entre os diferentes materiais.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais e Métodos

A casca de arroz doada pela empresa MBS madeiras ecológicas foi previamente lavada à secagem em uma estufa, a uma temperatura de 80°C durante 48 horas. Em seguida foram trituradas em um moinho de bolas de cerâmica para se obter determinada granulometria. A granulometria das cascas de arroz foi obtida pelo método de porcentagem retida em peneiras de malha padrão ASTM.

Foram preparados compósitos de PP contendo de 20 a 60% em massa de casca de arroz moída. O anidrido maleico (AM) foi utilizado com agente de acoplamento entre as diferentes fases, assim como o uso de estearato de zinco (EZ) que foi utilizado como lubrificante, ambos em proporções de 0,5% sobre a massa do compósito. Os materiais foram processados em um misturador marca Driser (modelo HMH) a 160°C, que por temperatura e atrito fundi e homogeneiza os materiais, em seguida foi inserido em uma calandra (HM equipamentos) a 80°C. Após a mistura, o composto sólido foi encaminhado a um moinho (modelo MGHS 2/180). Foram desenvolvidos compósitos com teores de 20, 40, 50 e 60% em massa de casca de arroz moída. A Tabela 1 mostra as proporções utilizadas.

Tabela 1. Identificação e formulação de compósitos de PP/CA (% em massa) .

| Identificação | % PP | % CA |
|----------------------|-------------|-------------|
| PP | 100 | 0 |
| PP – 20 | 80 | 20 |
| PP – 40 | 60 | 40 |
| PP – 50 | 50 | 50 |

| | | |
|----------------|----|----|
| PP – 60 | 40 | 60 |
|----------------|----|----|

Fonte: O autor 2024

Após o processo de mistura, homogeneização e moagem o material foi seco em uma estufa a 60°C por 24 horas. Em seguida, foi realizado o processo de injeção utilizando uma injetora modelo LHS 150-80, fabricada pela Himaco Hidráulicos e Máquinas Ltda. A temperatura de injeção foi de 150°C (zona 1, 2 e 3) e bico 25%.

A granulometria da casca de arroz foi classificada com peneiras de aberturas de malha, 20, 28, 35, 70 e 100 Mesh a partir do Classificador Bertel, com frequência de vibração de 100 Hz, em um intervalos de 20 min., segundo a norma ASTM B 214. Para as análises de TGA dos compósitos foi utilizado um equipamento de análise termo gravimétrica marca Perkin Helmer TGA 4000. Os parâmetros de teste utilizados foram 10 mg de amostra a uma atmosfera de nitrogênio (N₂) com fluxo de 20 ml.min⁻¹, taxa de aquecimento de 20 °C.min⁻¹, faixa de temperatura de teste de 30 °C a 900 °C.

O índice de fluidez é realizado segundo a norma ASTM D1238, foi utilizado um plastômero utilizando a temperatura de 230°C, durante 4 min. e peso de 2,16 kg. As análises de alongamento na ruptura e módulo de elasticidade de acordo com a norma ASTM D638, foram realizadas em um equipamento universal de ensaios EMIC, modelo DL-3000 com célula de carga de 20 KN a temperatura ambiente e com uma velocidade de deslocamento de 50 mm/min.

Nos ensaios de resistência à tração foi utilizada velocidade de 5 mm.min⁻¹, com célula de carga de 20 KN segundo norma ASTM D638. O ensaio de resistência ao impacto Izod, com entalhe foi

realizado em equipamento Zwickroell, modelo HTI com martelo de 1 Joule, conforme a ASTM D256-04 (5 corpos de prova).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise granulométrica da CA após 24 horas de moagem obtida por peneiramento vibratório, segundo a ASTM B214 podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Análise granulométrica da casca de arroz

| Malha ASTM mesch | % em massa retido | % acumulado |
|----------------------------|-------------------|-------------|
| 10 (\cong 2000 μ m) | 4,3 | 4,3 |
| 20 (\cong 840 μ m) | 23,5 | 27,8 |
| 28 (\cong 650 μ m) | 16,3 | 44,1 |
| 35 (\cong 500 μ m) | 19,5 | 35,8 |
| 70 (\cong 210 μ m) | 21,9 | 85,5 |
| 100 (\cong 150 μ m) | 10,7 | 96,2 |
| 150 (\cong 100 μ m) | 3 | 99,2 |
| Finos (<100 μ m) | 0,8 | 100 |

*Classificação dos sólidos de acordo com o sistema Tyler (Cremasco, 2009)

Verificou-se que 94,9% da concentração de partículas de CA moídas apresentam tamanho entre 150 a 840 μ m, conforme a Tabela 2 . Segundo Bisht, N., et al [18], as propriedades dos compósitos atingiram melhores resultados com a diminuição do tamanho das

partículas, já que as partículas de menor tamanho proporcionam uma maior área superficial total por volume, o que é benéfico para a ligação interfacial entre polímero e partícula de reforço.

Analisando as figuras 2 e 3 de TGA e DTG, nos compósitos se observa a decomposição característica dos componentes celulósicos da casca de arroz e do PP, também se observa que conforme aumentado o teor de casca de arroz no compósito o teor de sílica residual aumenta o que era esperado [19]. Já o compósito com 60% de casca de arroz apresentou uma curva de gradação térmica abaixo de 100°C que possivelmente corresponde a umidade presente na casca de arroz, o que não foi observado nos compósitos com menor quantidade de casca de arroz e a não existência de degasagem na extrusora durante a extrusão do compósito.

Figura 2. Análise termogravimétrica (TGA) do CA, PP e compósitos.

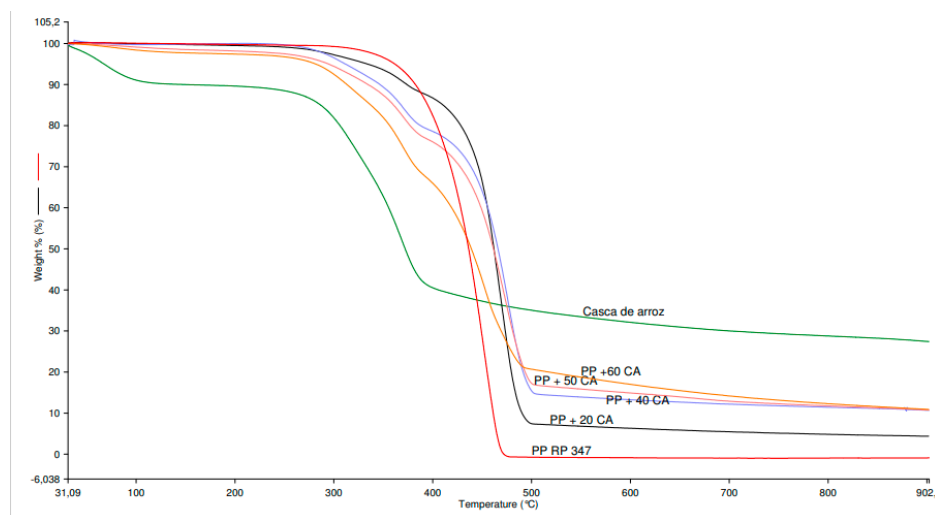
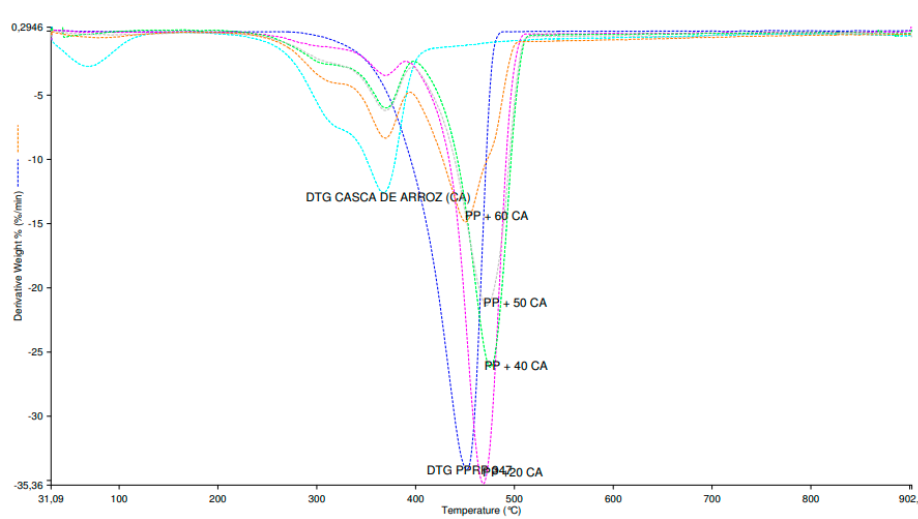
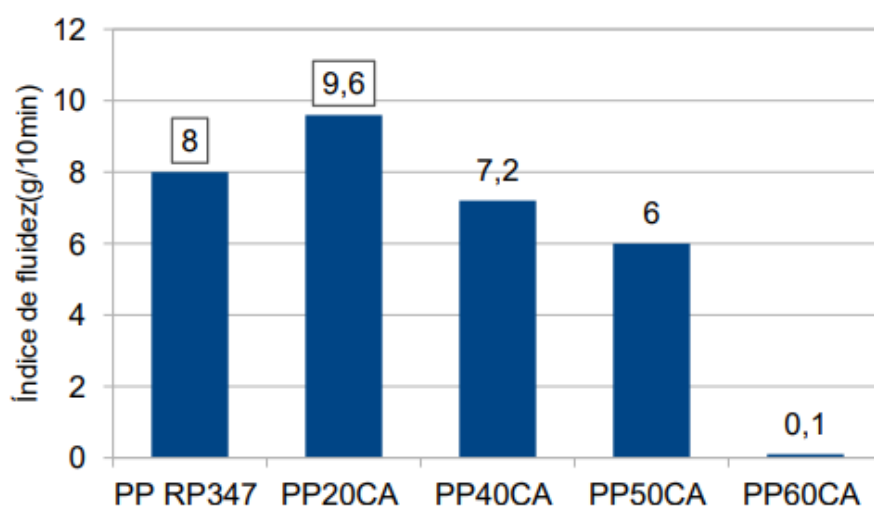


Figura 3. Análise perda massa (DTG) do CA, PP e compósitos.



Na Figura 4 se observa que a adição de 20% de CA moída proporcionou um aumento no índice de fluidez, provavelmente, as CA com tamanhos de partículas menores que foram envolvidas pela massa polimérica e provocaram um aumento da fluidez do material. Rigail- Cedeno, et al [20] ao estudarem o efeito da adição de compatibilizante na casca de arroz em compósitos de CA/PP observaram que em quantidades pequenas de casca de arroz moída o MFI aumenta devido a interação entre a massa fundida e a carga, semelhante ao observado no compósito de 20 % CA.

Figura 4. Índice de fluidez dos compósitos de PP/C.

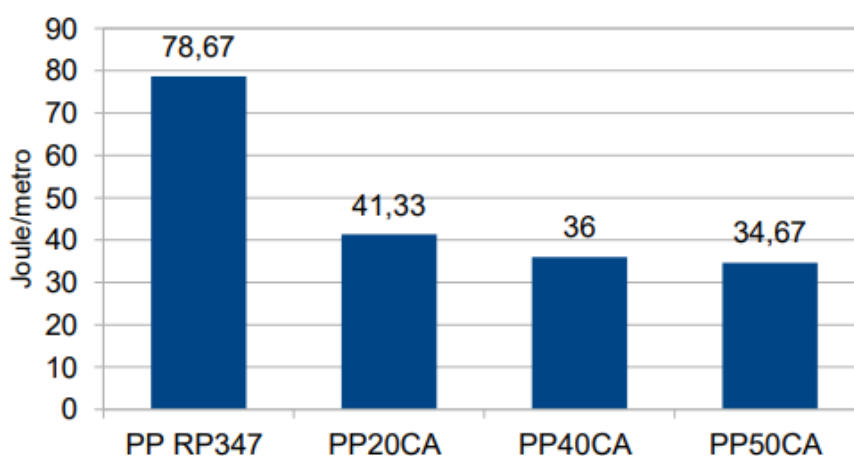


Nas concentrações de 40, 50 e 60% de CA houve diminuição da fluidez devido ao impedimento do escorregamento da massa polimérica pelas partículas dispersas [21], destacam que a presença de cargas orgânicas que restringem a mobilidade das cadeias

poliméricas provocando a diminuição do fluxo, inversamente a concentração das cargas.

Observa-se que a adição da casca de arroz em diferentes porcentagens provoca a diminuição da resistência ao impacto[22]. Essa redução da resistência se deve à falta de aderência interfacial fibra/matriz, devido aos micros espaços vazios existentes entre as fases, que tendem a formar microfissuras, provocando a iniciação de trincas, as quais prejudicam a resistência ao impacto do compósito. Para minimizar esse problema, a adição de um compatibilizante é uma alternativa. Dessa forma, quando é comparado os compósitos com diferentes teores de carga de casca de arroz moída, pode-se observar a redução gradual dessa resistência, uma vez que compósitos mais rígidos tendem a apresentar maior fragilidade e o aumento das quantidades de carga de casca de arroz comprometem as propriedades de impacto dos compósitos.

Figura 5. Resistência ao impacto dos compósitos de PP/CA



4. CONCLUSÕES

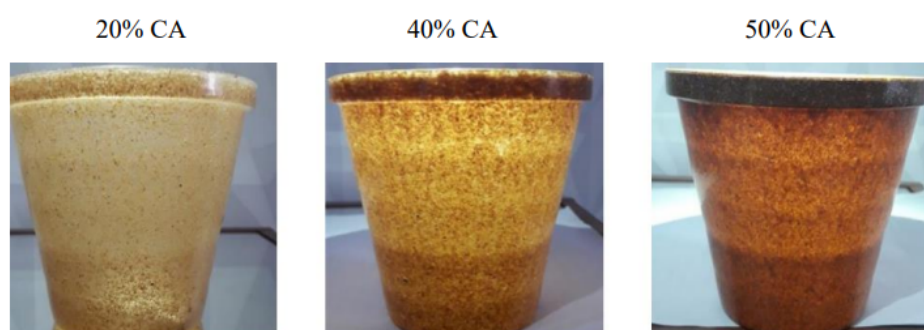
Os métodos utilizados para a obtenção dos compósitos se mostraram eficientes, assim como o objetivo de incorporação de alta quantidade de carga de casca de arroz na matriz de polipropileno

com o intuito de diminuir ao máximo a utilização de material de fonte não renovável. O processo de injeção do produto final se mostrou eficaz, onde o valor máximo atingido foi de 50% de carga. Apesar do índice de fluidez ter diminuído 25% houve uma boa interação entre fibra e matriz por conta do agente de acoplamento, o que proporcionou que as atribuições do produto final ficassem dentro do esperado.

O reprocessamento do compósito foi um ponto interessante a ser observado, pois mostra que é possível reciclar compósitos com carga natural sem diminuições significativas em suas propriedades e que além do aspecto ambiental o reprocessamento também pode ter benefícios econômicos, uma vez que a reutilização dos compósitos permite reduzir custos de produção e custos com a matéria prima.

Sendo assim os resultados foram satisfatórios, onde se pôde ter um produto bem acabado, com alta concentração de carga e com propriedades dentro do aceitável para determinadas aplicações, como vasos e embalagens para floricultura e decoração. Os produtos obtidos experimentalmente, com as diferentes concentrações em massa de casca de arroz (CA), são mostrados na Figura 6.

Figura 6. Concentração em massa de casca de arroz



Fonte: o autor

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não possuir quaisquer interesses financeiros ou relações pessoais que possam ter influenciado o trabalho apresentado neste artigo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS, CNPq e ao IFRS pelo apoio e auxílios recebidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MARCON, J. S. et al. *Estudo da modificação da fibra proveniente da coroa de abacaxi para a formação de compósitos poliméricos*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS. 10, 2009, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu, BR, 2009.
2. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (Seapi). (2023). Safra 2022-2023. <https://www.agricultura.rs.gov.br/safra-2022-2023>.
3. ROSA, Daiana Ruschel et al. Revisão da literatura: as aplicações da casca de arroz para o desenvolvimento de um produto ambientalmente amigável, 2022, e ROSA, Simone Maria; Estudo das propriedades de compósitos de polipropileno com casca de arroz, 2007.
4. D'ALMEIDA, A. L. F. S. et al. Efeito do tratamento de mercerização em fibras de curauá (*Ananas erectifolius*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS. 8, 2005, Rio de Janeiro, BR, 2005.

5. MULINARI, Daniella Regina et al. *Avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos de PEBD reforçados com fibras do bagaço de cana-de-açúcar*. Cadernos UniFOA, v. 10, n. 1 esp, p. 49-51, 2015.
6. BARBOSA, A. de Paula. *Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti*. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2011, BR.
7. PEREIRA, P. H. F. et al. *Vegetal fibers in polymeric composites: a review*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.25, n.1, p. 9- 22, 2015.
8. WWF, BRASIL. Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>.
9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 3878 -19a:Standard terminology for composite materials. West Conshohocken, PA, 2019.
10. CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 817 p.
11. BISHT, N., et al. Rice husk as a fibre in composites: A review. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 29(1), 147-162, 2020.
12. CANAL RURAL. *Produção de arroz no Brasil está no limite do consumo*, diz IBGE.:

<https://www.canalrural.com.br/noticias/producao-de-arroz-no-brasil-esta-no-limite-do-consumo-diz-ibge/2024>.

13. FOLETTTO, Edson Luiz et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. *QuímicaNova*, v. 28, p. 1055-1060, 2005.
14. MOHAMED, M. A. S., Mohamad Zaki Hassan, S. A. A., & Mohd Yusof Md Daud. Recent progress of polymer composites reinforced with rice husks: A review. *Polímeros*, 13(15), 2391, 2021. <https://doi.org/10.3390/polym13152391>
15. PAULESKI, D. T. et al. *Características de compósitos maninhados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira*. *Ciência floresta*, Santa Maria, v 17 , p. 157-170, 2007.
16. FARUK, Omar et al. *Progress report on natural fiber reinforced composites*. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 299, n. 1, p. 9-26, 2014.
17. RABELLO, Marcelo; DE PAOLI, Marco-Aurelio. *Aditivação de termoplásticos*. São Paulo: SP, Artliber, ed., BR 2013.
18. BISHT, Neeraj et al. "Rice husk as a fibre in composites: A review" *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, vol. 29, no. 1, pp. 147-162, 2020 .
19. BATISTA, Joana Sueveny Barbosa. Desenvolvimento e avaliação do desempenho de filme compósito anticorrosivo reforçado de forma sustentável com resíduo de casca de arroz, São Cristóvão, SE, 2025. 108 f. Dissertação (mestrado em

Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, BR, 2025.

20. RIGAIL-Cedeno, AF, Cabrera-Alava, D., Vera-Sorroche, J., Lazo, M., Adrian, E., & Perugachi, R. (2022). Efeito de agentes de compatibilização e casca de arroz na demanda de energia na extrusão de compósitos de polietileno de alta densidade recycled. *Energy Reports*, 8, 548-555, (2022).
21. FALESCHINI, F., Trento, D., Masoomi, M., Pellegrino, C., & Zanini, M. A. Sustainable mixes for 3D printing of earth-based constructions. *Construction and Building Materials*.2023, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132496>
22. DA SILVA RODRIGUES, Ana C. et al. Vias de reciclagem dos polímeros polipropileno (PP) e poliestireno (PS): *Um estudo bibliográfico*. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 18, n. 3, p. 145-160, 2017.

¹ Programa de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS, IFRS Farroupilha, RS- Brasil.

² Programa de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS, IFRS Farroupilha, RS- Brasil.

³ Programa de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS, IFRS Feliz, RS- Brasil.

⁴ Programa de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais,
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS, IFRS Farroupilha,
RS- Brasil.

⁵ Programa de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais,
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS, IFRS Farroupilha,
RS- Brasil.

⁶ Programa de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais,
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do RS, IFRS Farroupilha,
RS- Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)