

Compósitos com casca de arroz: experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira

Eliana Paula Calegari;

Branca Freitas de Oliveira

resumo:

Para que novos materiais desenvolvidos sejam introduzidos no mercado é necessário que se conheçam as suas especificações técnicas, como as propriedades físicas, químicas, térmicas, as suas características estéticas, as propriedades sensoriais, os processos de fabricação adequados e outras características. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi verificar o comportamento de compósitos com casca de arroz a partir da experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira. Foram realizados cortes, furação, lixamento e fixação de parafuso com equipamentos e ferramentas comumente utilizadas para a produção de móveis, em três tipos de compósitos com casca de arroz e resina poliéster: casca de arroz inteira (PO/CAI), casca de arroz inteira e moída (PO/CAIM) e em compósitos com casca de arroz moída (PO/CAM). A experimentação com os processos de fabricação da indústria moveleira apontou que os mesmos podem ser empregados nos compósitos com casca de arroz, com bons resultados de acabamento principalmente para os compósitos PO/CAIM e PO/CAM. Assim, os compósitos com casca de arroz oferecem uma oportunidade de inovação para o design de produto aplicado ao setor de móveis.

palavras-chave: Casca de arroz; Compósito; Processos de fabricação; Móveis.

1 Introdução

Na área de engenharia de materiais, estão surgindo novas alternativas de materiais que procuram minimizar impactos ambientais. De acordo com Faruk *et al.* (2012), o aumento da consciência ambiental e a existência de regulamentações ambientais aumentaram a demanda pela utilização de materiais não convencionais, surgindo o desenvolvimento de materiais de origem renovável, recicláveis, biodegradáveis, sustentáveis e ecológicos, nos quais enquadram-se os compósitos com materiais de origem renovável. Para Neto e Pardini (2006) a característica básica dos compósitos é combinar, em nível macroscópico, no mínimo, duas fases distintas denominadas de matriz e reforço. A matriz é a fase contínua sendo responsável pela transferência de tensões e o reforço está distribuído na matriz, geralmente, é mais rígido e resistente do que a matriz.

Nas últimas décadas, a indústria automobilística, de construção e de embalagens têm se voltado para a aplicação de novos materiais compósitos com reforços lignocelulósicos. Além disso, o baixo custo e peso desses compósitos tendem a aumentar o uso desses materiais (BROUWER, 2000). Vários pesquisadores (SANTULLI; CARUSO, 2009; DE VASCONCELLOS *et al.*, 2014; SURATA *et al.*, 2014; RASSIAH *et al.*, 2016), têm se esforçado na fabricação de compósitos utilizando reforços lignocelulósicos (com e sem tratamento químico), com matrizes poliméricas termoplásticas e termorrígidas, caracterizando as propriedades físicas, químicas, mecânicas, térmicas e elétricas.

Diversos tipos de fibras vegetais são cultivadas em praticamente todos os países. O Brasil, que é um país rico em recursos naturais e possui grandes áreas para plantio, tem potencial para assumir a liderança no desenvolvimento desses materiais. Já existem projetos em andamento na região amazônica que buscam cultivar fibras vegetais para tal fim (OLIVEIRA, 2016), além das fibras vegetais, os resíduos agrícolas também podem representar uma alternativa para reforço em compósitos, agregando valor aos resíduos, pois são baratos e amplamente disponíveis (VÄISÄNEN *et al.*, 2018). Zini e Scandola (2011) explicam que uma abordagem interessante para a preservação ambiental é a extração de matérias-primas para compósitos a partir de resíduos agrícolas. Entre os resíduos agrícolas produzidos no Brasil, como: cascas, palhas, colmos, ramas, raízes, caroços, a casca de arroz é gerada em grandes quantidades, principalmente, no estado do Rio Grande do Sul (MAPA, 2017).

A casca de arroz, disponível no mercado por um baixo custo, é um resíduo agrícola, que além de gerada em grande quantidade possui poucas aplicações devido às suas baixas propriedades nutritivas e elevado teor de cinza (LUYI; KECHENG, 2001). No que diz respeito à utilização da casca de arroz, o destino primário é a compostagem, o que reduz a sua carga orgânica. No entanto, esse método é empregado de forma indireta pela maioria dos produtores, já que boa parte da casca gerada é depositada no solo sem nenhum tipo de tratamento. Um problema desse método é que a casca de arroz demora aproximadamente 5 anos para decompor-se. Além disso, a casca apresenta baixa densidade, em torno de 0,13 g/cm³, o que resulta em um grande espaço necessário para a sua disposição. Outra destinação imprópria para a casca de arroz, que ocorre com frequência nos países produtores, é a queima a céu aberto, emitindo grande quantidade de monóxido e dióxido de carbono, cinza e gases tóxicos (MAYER *et al.* (2006).

Assim, diante dessa problemática, há a necessidade de encontrar caminhos para a utilização da casca de arroz para amenizar a degradação ambiental provocada por ela, como a fabricação de compósitos, e assim, oferecer a possibilidade de fabricar produtos a partir desses materiais (YANG *et al.*, 2007). Na literatura encontram-se trabalhos relacionados ao desenvolvimento de compósitos com talos de girassol e bagaço de cana-de-açúcar (ASHORI; NOURBAKSH, 2010), casca de arroz (FAVARO *et al.*, 2010), palha de soja (AHANKARI *et al.*, 2011) e palha de milho (REDDY; YANG, 2005), como reforço para compósitos.

Na pesquisa de doutorado de Calegari (2018), foram desenvolvidos compósitos com casca de arroz com matriz à base de poliéster. Foram empregados 80% de casca de arroz nos compósitos e 20% de resina poliéster. Do processamento dos compósitos com casca de arroz e poliéster resultaram três placas: poliéster com casca de arroz inteira (PO/CAI), poliéster com casca de arroz inteira e moída (PO/CAIM) e poliéster com casca de arroz moída (PO/CAM), conforme podem ser observadas na Figura 1.



Figura 1: Placas de compósitos: A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM. Fonte: Calegari (2018).

Após o desenvolvimento dos materiais foi realizada a caracterização dos compósitos e o estudo das possibilidades de emprego desses materiais no design de produto, o qual resultou na aplicação dos novos materiais desenvolvidos com casca de arroz na indústria moveleira (CALEGARI, 2018). Contudo, para o efetivo emprego dos compósitos em móveis, é preciso conhecer o comportamento desses materiais com os processos de fabricação utilizados na indústria moveleira. Desse modo, esse trabalho tem como objetivo testar processos de fabricação comumente utilizados para a produção de móveis nos compósitos com casca de arroz para conhecer o comportamento desses materiais.

2 Metodologia

Os procedimentos para a experimentação de processos de fabricação da indústria moveleira nos compósitos com casca de arroz foram realizados com o uso de máquinas básicas de marcenaria, com o objetivo de verificar o comportamento dos compósitos com casca de arroz em relação a esses processos. Foram realizados cortes, furação, lixamento e fixação de parafuso, com os equipamentos descritos na sequência. Para o corte manual foi utilizado o serrote da marca Dexter, com lâmina de aço de comprimento de 35 cm, com 12 dentes por polegada, conforme pode ser visualizado na Figura 2.



Figura 2: Serrote: A) Serrote e B) Realização do corte na placa de compósito.

Para o corte com serra de fita foi utilizado o equipamento da marca Tekna modelo SF 400 T, com comprimento da lâmina de 295 cm, velocidade de 10 m/s, como pode ser visualizado na Figura 3.

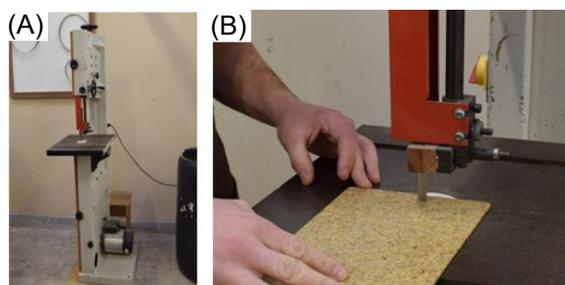


Figura 3: Serra de fita: A) Visão geral do equipamento e B) Realização do corte na placa de compósito.

Para o corte na esquadrejadeira foi utilizado o equipamento da marca Maksiwa modelo ESQ – 3000 I. Foi utilizada a serra da marca Freud modelo LU3A-0200 com diâmetro externo de 250 mm, furo de 30 mm e 80 dentes alternados E/D 38°, como pode ser observado na Figura 4.

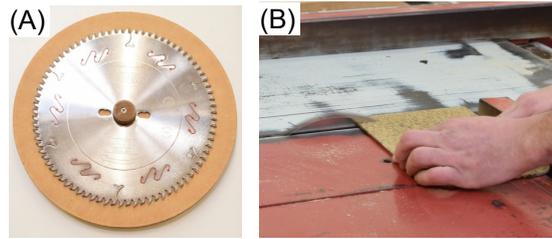


Figura 4: Esquadrejadeira: A) Serra de disco e B) Realização do corte na placa de compósito.

A usinagem convencional foi realizada em uma fresadora universal da marca WMW modelo FUW, conforme pode ser visualizado na Figura 5. Os parâmetros da usinagem foram os seguintes:

- Velocidade de avanço de corte: 220 mm/min
- Rotação: 355 rpm
- Fresa de aço rápido: 10 mm

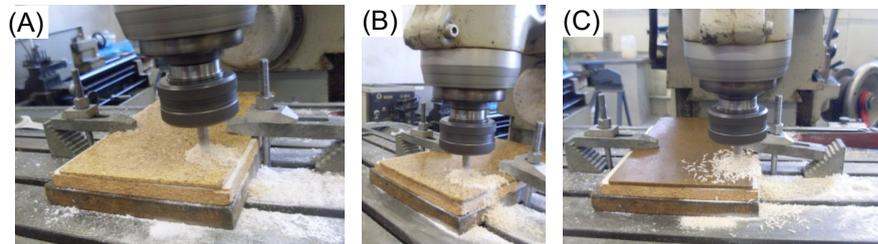


Figura 5: Usinagem dos compósitos de casca de arroz: A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM.

Neste trabalho foi utilizado o lixamento manual e com lixadeira. Para o lixamento manual foram utilizadas lixas da marca Indasa, com grãos de 120, 220, 360 e 600, conforme pode ser observado na Figura 6.

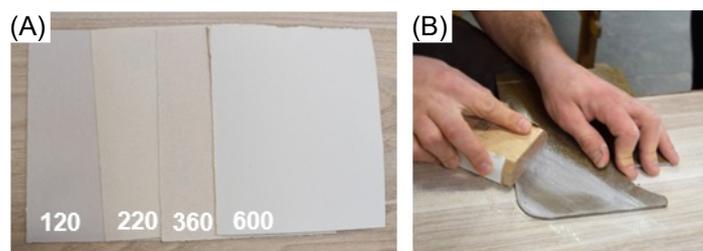


Figura 6: A) Lixas com diferentes grãos e B) lixamento manual.

Para o lixamento com lixadeira foi utilizado equipamento de disco e lixa de fita da marca Maksiwa, com velocidade de 1700 rpm para arredondamento dos cantos dos compósitos desenvolvidos, e após, foi aplicado a lixamento manual para o acabamento das bordas arredondadas. A lixa de fita utilizada foi da marca Indasa modelo PH de grão 60, conforme pode ser observado na Figura 7.

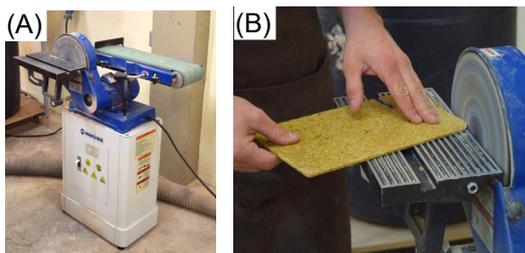


Figura 7: Lixamento das placas de compósito: A) Lixadeira de disco e B) Lixamento.

A furação foi realizada com uma furadeira e aparafusadeira da marca DeWalt modelo DCD700, com bateria voltagem 12 v, como pode ser observado na Figura 8, e foi utilizada uma broca de 4 mm.

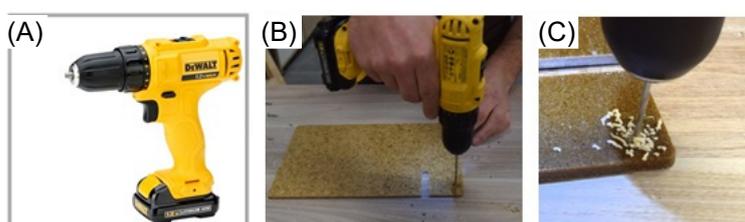


Figura 8: Furação das placas de compósito: A) Furadeira manual, B) Furação e C) Geração de cavaco.

Além disso, foi realizada a furação com fresa do tipo forstner de 10 mm, conforme pode ser observada na Figura 9.

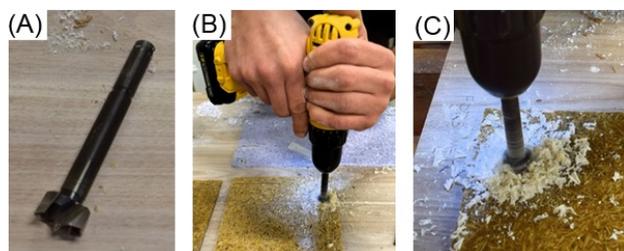


Figura 9: Furação com broca forstner: A) Broca forstner, B) Furação e C) Geração de cavaco.

Para a inserção do parafuso nas placas de compósito, utilizou-se a furadeira e aparafusadeira da marca DeWalt modelo DCD700, com bateria voltagem 12 v. Utilizaram-se parafusos para madeira de cabeça chata de 3.5 mm, com fenda phillips, conforme pode ser visualizado na Figura 10. A furação para inserção do parafuso foi realizada com broca de 4 mm.

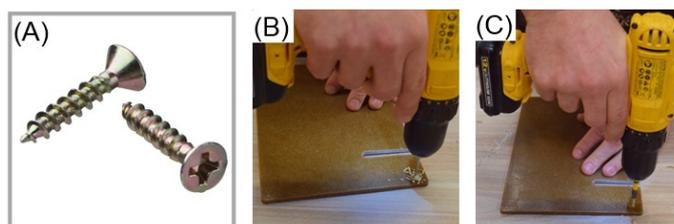


Figura 10: Inserção de parafuso nas placas de compósito: A) Parafuso utilizado, B) Furação e C) Inserção do parafuso.

Os resultados foram analisados a partir do aspecto visual e percepção tátil, conforme as características apresentadas no Quadro 1.

Corte	Lixamento	Furação	Fixação de parafuso
<ul style="list-style-type: none"> • Integridade dos compósitos durante e após os cortes; • Geração de rebarbas¹; • Geração de lascas²; • Geração de trincas³; • Textura da superfície de corte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integridade dos compósitos durante e após o lixamento, • Superfície lisa/áspera; • Superfície opaca/brilho. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integridade do compósito durante e após a furação, • Geração de rebarbas; • Geração de lascas; • Geração de trincas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integridade do compósito durante e após a fixação do parafuso; • Geração de rebarbas; • Geração de lascas; • Geração de trincas.

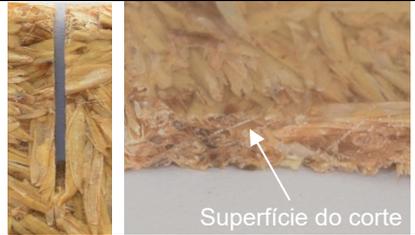
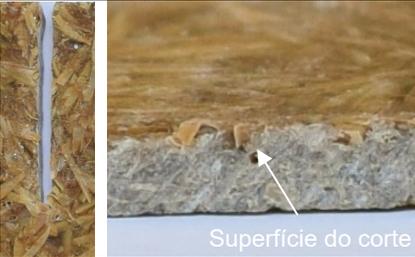
Quadro 1 - Características observadas durante e após a experimentação com os processos de fabricação.

3 Resultados e discussões

A seguir, são descritos o comportamento e o acabamento dos compósitos PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM, que passaram por processos de fabricação utilizados na indústria moveleira.

3.1 Corte com serrote

No Quadro 2 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com serrote, e as observações realizadas referentes ao comportamento e ao acabamento durante e após o corte.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Não foi observada a geração de lascas, e trincas; • Superfície do corte com marcas do serrote, com textura na forma de linhas inclinadas.
PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas: menor que no PO/CAI; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Superfície do corte com marcas do serrote, com textura na forma de linhas inclinadas.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Geração de lascas da resina; • Não foram observadas trincas; • Superfície do corte com marcas do serrote, textura na forma de linhas inclinadas, e esbranquiçada.

Quadro 2 - Resultado do corte com serrote.

¹ Rebarba é qualquer parte no material que esteja saliente (HOUAISS; VILLAR, 2001).

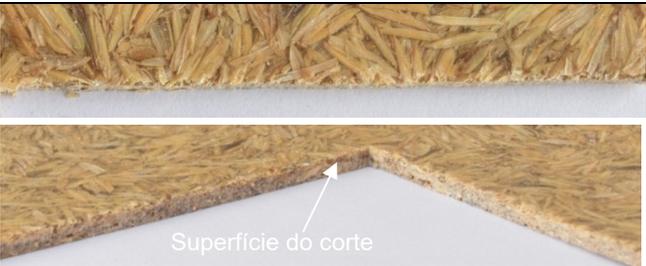
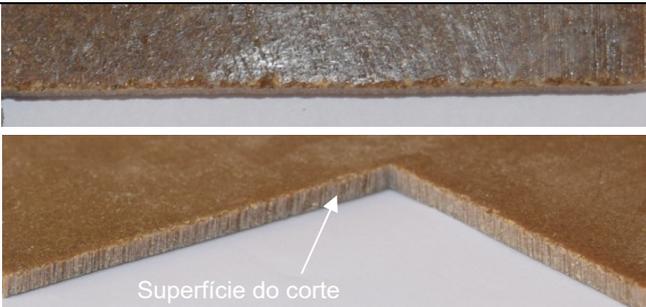
² Lasca é uma porção ou fatia de material que se corta ou se separa naturalmente (HOUAISS; VILLAR, 2001).

³ Trinca é qualquer abertura estreita, rachadura no material (HOUAISS; VILLAR, 2001).

Observou-se que os compósitos puderem ser cortados por meio do serrote, sem dificuldade, e com a manutenção da integridade dos materiais. Contudo, essa ferramenta não resultou em um corte preciso, ou seja, “reto”. Dessa forma, o serrote pode ser utilizado para um corte mais “grosseiro”. De maneira geral, considera-se que se obteve um acabamento razoável do corte com essa ferramenta manual. No PO/CAI houve a quebra da casca de arroz na região do corte, fazendo com que surgissem rebarbas, o que ocorreu com menos intensidade no PO/CAIM. No PO/CAM, surgiram lascas da resina, o que não foi observado nos outros compósitos (PO/CAI e PO/CAIM). Portanto, considera-se que o compósito que apresentou melhor acabamento no corte com o serrote foi o PO/CAIM.

3.2 Corte com serra de fita

No Quadro 3 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com serra de fita, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento durante e após o corte.

<p style="text-align: center;">PO/CAI</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Superfície do corte com marcas da serra de fita, com textura na forma de linhas verticais.
<p style="text-align: center;">PO/CAIM</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foi observada a geração de rebarbas, lascas e trincas; • Superfície do corte com marcas da serra de fita, com textura na forma de linhas verticais.
<p style="text-align: center;">PO/CAM</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Geração de lascas da resina; • Não foram observadas trincas; • Superfície do corte com marcas da serra de fita, com textura na forma de linhas verticais e esbranquiçada.

Quadro 3 - Resultado do corte com serra de fita.

Observou-se que os compósitos puderam ser cortados por meio da serra de fita, sem dificuldade e com boa integridade durante e após o corte. Percebeu-se que os resultados do acabamento foram similares ao corte com serrote, com algumas melhorias no acabamento dos compósitos, principalmente, no PO/CAIM. Outra diferença, é que a serra de fita resultou em um corte mais preciso do que o corte com serrote.

No PO/CAI, assim como no corte com serrote, houve a quebra da casca de arroz na região do corte, surgindo assim, rebarbas, o que não foi observado no PO/CAIM. No PO/CAM foram retiradas

lascas de resina na região do corte durante o processo. Foram observadas marcas da serra na superfície de corte em todos os compósitos, no entanto, no compósito com casca de arroz moída (PO/CAM) as marcas estão mais aparentes. Portanto, em geral, considera-se que se obteve um acabamento razoável com o corte com a serra de fita. Constatou-se que o compósito que apresentou melhor acabamento no corte com serra de fita foi o compósito com casca de arroz inteira e moída (PO/CAIM).

3.3 Corte com esquadrejadeira

No Quadro 4 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com a esquadrejadeira, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento durante e após o corte.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de poucas rebarbas em relação ao corte com serrote e serra de fita; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.
PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foi observada a geração de rebarbas, lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.

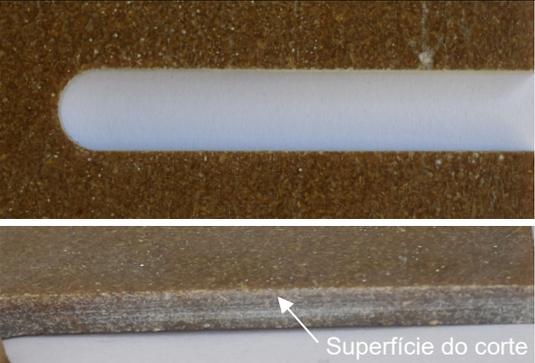
Quadro 4 - Resultado do corte com esquadrejadeira.

Observou-se que os compósitos puderam ser cortados por meio da esquadrejadeira, sem dificuldade e com boa integridade dos materiais durante e após o corte. Os resultados de acabamento

apresentaram-se melhores em comparação ao corte com serrote e serra de fita. O corte com a esquadrejadeira resultou mais preciso do que os equipamentos citados anteriormente. No PO/CAI, houve pouca quebra da casca de arroz na região do corte, em relação aos outros cortes testados com esse compósito, por consequência, surgiram poucas rebarbas. No PO/CAIM o acabamento foi melhor, provavelmente, pela menor quantidade de casca de arroz inteira. No PO/CAM observaram-se somente a geração de rebarbas. Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte, desse modo, considera-se que os compósitos PO/CAIM e PO/CAM apresentaram os melhores resultados em relação ao acabamento no corte com a esquadrejadeira. Além disso, considera-se que se obteve melhor acabamento com o corte com a esquadrejadeira em comparação com o corte com serrote e serra de fita.

3.4 Corte com usinagem convencional

No Quadro 5 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com a usinagem convencional, e as observações realizadas referentes ao comportamento e o acabamento durante e após o corte.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas formadas por casca de arroz; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.
PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foram observadas rebarbas, lascas e trincas; • Superfície do corte: com marcas da serra, com textura na forma de linhas horizontais e esbranquiçada.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foram observadas rebarbas, lascas e trincas; • Superfície do corte: com marcas da serra, com textura na forma de linhas horizontais e esbranquiçada.

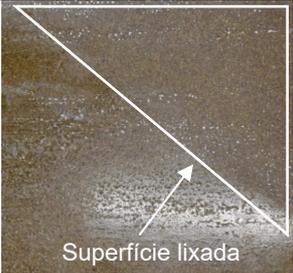
Quadro 5 - Resultado do corte com usinagem convencional.

Observou-se que os compósitos puderam ser cortados por meio da usinagem convencional, sem dificuldade e com boa integridade durante e após o corte. Os resultados do acabamento foram melhores em comparação aos outros equipamentos de corte (serrote, serra de fita e esquadrejadeira) para os compósitos PO/CAIM e PO/CAM. Já no PO/CAI, surgiram muitas rebarbas formadas pela casca de arroz. Observou-se que a casca de arroz que formou a rebarba apresentou-se em partículas maiores do que nos outros equipamentos de corte testados com esse compósito. No PO/CAIM e PO/CAM, aparentemente, não surgiram rebarbas e o acabamento foi melhor em comparação aos outros testes de corte com esses compósitos. Foram constatadas marcas da fresa na superfície de corte dos compósitos em forma de linhas horizontais. Sendo assim, considera-se que o PO/CAIM e o PO/CAM apresentaram os melhores resultados em relação ao acabamento, no corte com a usinagem convencional, e também em comparação com os outros tipos de corte. Além disso, a usinagem convencional resultou em um corte preciso, no entanto, houve perda de material com o uso da fresa de 10 mm.

Portanto, de maneira geral, em relação aos processos de corte, verificou-se que os compósitos PO/CAIM e o PO/CAM apresentaram o melhor acabamento, já o PO/CAI apresentou a geração de rebarbas em todos os processos de corte, assim, a casca de arroz inteira é responsável pelo acabamento inferior dos compósitos.

3.5 Lixamento manual

No Quadro 6 podem ser observados os compósitos que passaram pelo lixamento manual da superfície dos compósitos, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

	<p style="text-align: center;">PO/CAI</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • A superfície lixada apresentou-se lisa e fosca.
	<p style="text-align: center;">PO/CAIM</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • A superfície lixada apresentou-se lisa e mais fosca no PO/CAI.
	<p style="text-align: center;">PO/CAM</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • A superfície lixada apresentou-se lisa e mais fosca que no PO/CAI e PO/CAIM.

Quadro 6 - Resultado do lixamento manual.

Observou-se que os compósitos permaneceram íntegros durante o processo de lixamento manual, com o uso de lixas de várias granulações (120, 220, 360 e 600). As superfícies dos compósitos (PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM) apresentaram-se lisas e foscas em comparação com a superfície não lixada, contudo, a superfície do PO/CAI, apresentou-se menos fosca em relação ao PO/CAIM e PO/CAM.

3.6 Lixadeira automática

No Quadro 7 podem ser observados os compósitos que passaram primeiramente pelo lixamento com lixadeira automática, e após, pelo lixamento manual com as lixas de grão 120, 220, 360 e 600, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

<p style="text-align: center;">PO/CAI</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • O arredondamento foi realizado com facilidade; • A superfície lixada com lixadeira apresentou-se com marcas da lixa; • A superfície lixada manualmente apresentou-se lisa.
<p style="text-align: center;">PO/CAIM</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • O arredondamento foi realizado com facilidade; • A superfície lixada apresentou-se com marcas da lixa. • A superfície lixada manualmente apresentou-se lisa.
<p style="text-align: center;">PO/CAM</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • O arredondamento foi realizado com facilidade; • A superfície lixada apresentou-se com marcas da lixa e esbranquiçada. • A superfície lixada manualmente apresentou-se lisa.

Quadro 7 - Resultado do lixamento com lixadeira automática e lixamento automático.

Observou-se que os compósitos permaneceram íntegros durante o processo de lixamento automático, com uso de lixadeira. Esse processo foi realizado com facilidade e precisão, pois permitiu que o operador do equipamento controlasse o arredondamento do canto. Percebeu-se que a superfície da borda lixada apresentou-se com marcas da lixa, mais evidentes no compósito PO/CAM, as quais foram retiradas com o lixamento manual, com lixas de granulação variada (120, 220, 360 e 600), o que proporcionou uma superfície lisa em todos os compósitos.

3.7 Furação

No Quadro 8 podem ser observados os compósitos que passaram pela furação com broca forstner (10 mm) e broca de 4 mm, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a furação; • Geração de rebarbas; • Não foram observadas lascas e trincas.
PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a furação; • Não foram observadas, rebarbas, trincas e lascas.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a furação com broca forstner, o que não ocorreu com a broca de 4 mm; • Não foram observadas rebarbas e lascas; • Foram observadas trincas no furo com a broca de 4 mm.

Quadro 8 - Resultado da furação com broca forstner (10 mm) e broca de 4 mm.

Observou-se que os compósitos puderam ser perfurados por meio da broca forstner (10 mm) e da broca de 4 mm, sem dificuldade e com boa integridade dos materiais durante e após a furação, com exceção do PO/CAM, o qual trincou durante o processo de furação com a broca de 4mm. Dessa forma, o PO/CAM não é adequado para receber furação com brocas de diâmetro de 4mm, podendo ocasionar trincas no material. Em relação ao acabamento, somente no PO/CAI foram observadas rebarbas, nos outros compósitos (PO/CAIM e PO/CAM) o acabamento, aparentemente, foi semelhante ao corte com usinagem convencional.

3.8 Fixação de parafuso

No Quadro 9 podem ser observados os compósitos com a fixação do parafuso, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a inserção do parafuso. • Não foram observadas, rebarbas, lascas e trincas.
PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a inserção do parafuso; • Não foram observadas rebarbas, lascas e trincas.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • O compósito desintegrou-se durante a fixação do parafuso; • Foram observadas trincas durante a fixação do parafuso que originou uma rachadura no material.

Quadro 9 - Resultado da fixação de parafuso.

Observou-se que os compósitos PO/CAI e PO/CAIM permaneceram íntegros no processo de fixação do parafuso, o que não ocorreu com o PO/CAM, esse último trincou e rachou à medida que o parafuso foi fixado. De acordo com os resultados do ensaio de impacto, já realizado, o PO/CAIM absorveu maior energia ao impacto, e o PO/CAM absorveu menor energia ao impacto, o que pode justificar a geração de trinca e posterior rachadura do PO/CAM com a fixação do parafuso. Em relação ao acabamento, considera-se que se obteve bom acabamento com a fixação do parafuso nos compósitos que permaneceram íntegros (PO/CAI e PO/CAIM), pois não foram observadas rebarbas, lascas e trincas.

4 Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de novos materiais, os compósitos com casca de arroz, a partir de processos de fabricação utilizados na indústria moveleira. Foram utilizados os principais equipamentos e ferramentas para a produção de móveis. A experimentação com processos de fabricação apontou que podem ser empregados processos utilizados na indústria moveleira nos compósitos com casca de arroz, com bons resultados de acabamento principalmente para os compósitos PO/CAIM e PO/CAM. Assim, os compósitos com casca de arroz oferecem uma oportunidade de inovação para o design aplicado ao setor de móveis. Assim, com base nos resultados dessa pesquisa, móveis são possibilidades de aplicação para os compósitos com casca de arroz.

Neste sentido, os compósitos com casca de arroz são promissores para serem utilizados na indústria moveleira. A matéria-prima para a fabricação, ou seja, a casca de arroz pode ser encontrada em abundância no estado do Rio Grande do Sul, podendo haver mercado para os compósitos nesse

mesmo local, pois o estado é considerado um dos maiores polos moveleiros do Brasil. Em relação ao custo, por ser um resíduo agrícola a casca de arroz pode ser adquirida gratuitamente ou por um preço baixo. Além disso, os compósitos com casca de arroz podem ser promissores para mercados de outros países produtores de arroz, como China, Índia, Indonésia, Vietnã, Tailândia, Filipinas, Japão e outros. A resina poliéster utilizada na produção dos compósitos com casca de arroz também possui baixo custo, quando comparada a outras resinas poliméricas com desempenho semelhante. Apesar da resina poliéster não permitir a reciclagem, por ser um polímero termorrígido, apresenta boas propriedades físicas e mecânicas que garantem a sua durabilidade.

Ainda, a introdução de materiais alternativos na indústria moveleira, como os compósitos com casca de arroz, pode substituir o uso da madeira de lei, já que esse tipo de madeira é considerada escassa e a sua extração provoca danos ambientais, pois, em geral, é retirada de florestas nativas. Assim, o desenvolvimento e o emprego de compósitos com casca de arroz torna-se relevante, na medida em que se pode empregar um resíduo agrícola para a produção de compósitos com características estéticas específicas, agregando valor a esses resíduos, e assim, oportunizar novas possibilidades para o design de móveis.

Composites with rice husk: experimentation with manufacturing processes in the furniture industry

Abstract:

For new developed materials to be introduced to the market, it is necessary to know their technical specifications, such as physical, chemical, thermal properties, their aesthetic characteristics, sensory properties, suitable manufacturing processes and other characteristics. Thus, the objective of this work was to verify the behavior of composites with rice husk from the experimentation with manufacturing processes of the furniture industry. Cuts, drilling, sanding and screw fixing were carried out with equipment and tools commonly used for furniture production, in three types of composites with rice husk and polyester resin: whole rice husk (PO / CAI), whole rice husk and ground (PO / CAIM) and in composites with ground rice husk (PO / CAM). Experimentation with the manufacturing processes of the furniture industry pointed out that they can be used in composites with rice husks, with good finishing results mainly for composites PO / CAIM and PO / CAM. Thus, rice husk composites offer an opportunity for innovation in product design applied to the furniture sector.

Keywords: Rice husk; Composite; Manufacturing processes; Furniture

Referências bibliográficas

AHANKARI, S.; MISRA, M.; MOHANTY, A. K. Mechanical behaviour of agro-residue reinforced poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), (PHBV) green composites: A comparison with traditional polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, p. 653–657, 2011.

ASHORI, A.; NOURBAKSHI, A. Bio-based composites from waste agricultural residues. **Waste Management**, p. 680–684, 2010.

BROUWER, W. D. Natural fibre composites: Where can flax compete with glass? **Sampe Journal**, v. 36, n. 6, p. 18-23, 2000.

CALEGARI, E. P. Compósitos poliméricos com casca de arroz: **Desenvolvimento, caracterização e possibilidades de aplicação no design de produto**. Doutorado (Tese). Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

DE VASCONCELLOS, D. S.; SARASINI, F.; TOUCHARD, F.; CHOCINSKI-ARNAULT, L.; PUCCI, M.; SANTULLI, C.; TIRILLÓ, J.; IANNACE, S.; SORRENTINO, L. Influence of low velocity impact on fatigue

behaviour of woven hemp fibre reinforced epoxy composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 66, p. 46-57, 2014.

FARUK, O. BLEZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.

FAVARO, S. L.; LOPES, M. S.; VIEIRA, de C. N. A. G.; SANTANA, R. R.; RADOVANOVIC, E. Chemical, morphological, and mechanical analysis of rice husk/post-consumer polyethylene composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, p. 154–160, 2010.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. de. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Língua Portuguesa, Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

LUYI, S.; KECHENG, G. Silicon-Based Materials from Rice Husk and Their Applications. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 40, p. 5861-5877, 2001.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. **XIII SIMPEP** - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.

NETO, F. L.; PARDINI, L.C. **Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia**. Editora Edgard Blucher Ltda, 2006.

OLIVEIRA, F. H. de. **Avaliação comparativa de compósitos unidirecionais de poliéster com fibras de vidro ou de curauá**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RASSIAH, K.; SIHOMBING, H.; YUHAZRI, M. Y., PRABHU, C. M. R. Influence of Rice Husk and Composition Ratio on Mechanical Performance of Polypropylene Composite. **Journal of Engineering and Technology**, v. 1, 2016.

REDDY, N.; YANG, Y. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. **Green Chemistry**, p. 190-195, 2005.

SANTULLI, C.; CARUSO, A. P. Effect of fibre architecture on the falling weight impact properties of hemp/epoxy composites. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v. 3, n. 3, p. 291-297, 2009.

SURATA, W; SURIADI, G. A. K.; ARNIS, K. Mechanical Properties of Rice Husks Fiber Reinforced Polyester Composites. **International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing**, v. 2, n. 2, 2014.

VÄISÄNEN, T.; BATELLO, P.; LAPPALAINEN, R.; TOMPPOLA, L. Modification of hemp fibers (*Cannabis Sativa* L.) for composite applications. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 422-429, 2018.

YANG, H. S.; KIM, H. J.; PARK, H. J.; LEE, B. J.; HWANG, T. S. Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. **Composite Structures**, v. 77, p. 45-55, 2007.

ZINI, E.; SCANDOLA, M. Green composites: An overview. **Polymer composites**, v. 32, n. 12, p. 1905–1915, 2011.