4º Congresso Internacional sobre Materiais Plásticos Compostáveis e de Fonte Renovável
11 e 12 de junho de 2025

ID.BIO.17 -MICOMATERIAIS PRODUZIDOS COM *Panus strigellus*: UMA ALTERNATIVA BIOTECNOLOGICA AO USO DE PLÁSTICOS NA AGRICULTURA.

Marim, B. M., Beluci, N.C.L.[1], Goncalves, L. F, Jayme, N. S., Oliveira, A. L. M.

[1] Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Bioquímica e Biotecnologia, Londrina/Paraná - Brasil. E-mail: beatriz.marjorie@uel.br.
[2] Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Bioquímica e Biotecnologia, Londrina/Paraná - Brasil. E-mail: natalia.beluci@uel.br
[3] Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Bioquímica e Biotecnologia, Londrina/Paraná - Brasil. E-mail: fernandes2012.leticia@gmail.com.
[4] Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Bioquímica e Biotecnologia, Londrina/Paraná - Brasil. E-mail: nsouzajayme@gmail.com
[5] Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Bioquímica e Biotecnologia, Londrina/Paraná - Brasil. E-mail: almoliva@uel.br

Resumo

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelo uso de plásticos derivados do petróleo tem impulsionado o desenvolvimento de materiais sustentáveis e biodegradáveis, especialmente no setor agrícola. Nesse contexto, os micomateriais – biocompósitos obtidos a partir da interação entre micélio fúngico e resíduos lignocelulósicos – surgem como uma alternativa promissora, integrando os princípios da economia circular e da bioeconomia. Este estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar micomateriais obtidos a partir de casca de aveia (CA) e bagaço de laranja (BL), utilizando o fungo *Panus strigellus* como agente de biotransformação. A escolha desses resíduos se baseia na sua abundância no estado do Paraná e no elevado teor de celulose, hemicelulose e lignina, componentes favoráveis ao crescimento fúngico e à formação da matriz micelial. Foram elaboradas quatro formulações: MMA (100% CA), MMAL50/50, MMAL75/25 e MMAL25/75, com diferentes proporções de CA e BL. Os substratos foram autoclavados, inoculados com micélio ativo de P. strigellus e incubados por 21 dias em estufa a 28 °C. Após o crescimento micelial e a secagem, os micomateriais foram avaliados quanto à capacidade de intumescimento (absorção de água), solubilidade, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR), perda de massa em biodegradação e quantificação de celulose, hemicelulose e lignina. Os testes de intumescimento revelaram que todos os materiais foram capazes de absorver água sem comprometer sua integridade estrutural por até 24 horas. O MMA apresentou a maior taxa de intumescimento, com aumento de 139,92% do peso seco após 1 hora de imersão. Em contraste, os micomateriais contendo BL mostraram menor absorção, atribuída à presença de pectina, que forma uma matriz mais densa e limita a penetração de água. A análise de solubilidade indicou que o MMA apresentou menor solubilidade (13,76%) do que os resíduos puros, devido à formação de uma

camada micelial hidrofóbica. Os materiais mistos com maior proporção de BL apresentaram solubilidade ainda menor, chegando a 4,13% no MMAL25/75, sugerindo que a presença de pectina contribui para a formação de uma matriz coesa e menos permeável. Os resultados indicam que os micomateriais produzidos apresentam características físico-químicas e funcionais compatíveis com aplicações sustentáveis, como cobertura agrícola, substratos temporários e bioembalagens. A combinação entre absorção controlada de água, baixa solubilidade e biodegradabilidade significativa reforça seu potencial como alternativa viável a produtos plásticos, promovendo o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e contribuindo para práticas agrícolas regenerativas.

Palavras-chave: Micomateriais, residuos agroindustriais, Biodegradação

1. INTRODUÇÃO

A agricultura moderna, altamente dependente de insumos industriais, utiliza amplamente plásticos derivados do petróleo para diversos fins, como cobertura de solo (mulching), estufas, bandejas de mudas, vasos temporários e sistemas de irrigação. Embora esses materiais ofereçam vantagens como controle de umidade, temperatura e supressão de plantas daninhas, seu descarte inadequado representa uma das principais fontes de poluição ambiental no setor agrícola. Com baixa taxa de degradação, os plásticos acumulam-se no solo e no ambiente, liberando microplásticos que podem interferir negativamente na microbiota do solo, nas trocas gasosas e na dinâmica de nutrientes, comprometendo a saúde do ecossistema agrícola [1–4].

Além dos impactos ambientais, o uso desses plásticos gera custos com descarte, manejo e substituição periódica, o que torna sua substituição por alternativas biodegradáveis uma necessidade urgente e estratégica, especialmente frente aos compromissos globais de redução de resíduos e mitigação das mudanças climáticas. Nesse contexto, materiais sustentáveis produzidos a partir de resíduos agroindustriais vêm ganhando destaque como soluções alinhadas à bioeconomia e à economia circular, ao promover o reaproveitamento de subprodutos comumente descartados ou subutilizados [5–8].

Entre as alternativas emergentes, os micomateriais se destacam como uma abordagem inovadora e promissora. Esses materiais são produzidos pela colonização de resíduos lignocelulósicos por fungos filamentosos, formando estruturas sólidas compostas pela rede de hifas do micélio, que atua como agente de ligação entre as partículas do substrato. Após o crescimento, o material é seco para interromper a atividade biológica, resultando em um biocompósito leve, resistente, biodegradável e moldável [7, 9, 10].

Estudos demonstram que os micomateriais possuem propriedades físicas e químicas adequadas para aplicações agrícolas, como substituição de bandejas plásticas, vasos temporários e coberturas biodegradáveis de solo. Além disso, sua produção pode ser regionalizada, aproveitando resíduos locais, o que reduz custos logísticos e impactos ambientais associados ao transporte e processamento de matérias-primas [7, 11]. Entre os resíduos mais promissores para esse fim estão a casca de aveia e o bagaço de laranja, abundantes no estado do Paraná. A casca de aveia é rica em celulose e lignina, enquanto o bagaço de laranja possui elevado teor de pectina e açúcares solúveis – componentes que influenciam diretamente as propriedades finais dos micomateriais [12–14].

A espécie fúngica *Panus strigellus*, pertencente ao filo Basidiomycota, é nativa da Amazônia e destaca-se pela sua capacidade de crescer em substratos lignocelulósicos, mesmo em regiões tropicais. Estudos anteriores demonstraram sua eficácia na colonização de resíduos florestais e agroindustriais, o que reforça seu potencial para aplicações biotecnológicas na produção de micomateriais [15, 16].

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar micomateriais obtidos a partir da biotransformação de casca de aveia e bagaço de laranja pelo fungo P. strigellus, com foco na avaliação das propriedades físico-químicas e biodegradáveis dos compósitos formados, visando sua aplicação como substitutos sustentáveis aos plásticos utilizados na agricultura., permite ainda a fabricação contínua desses materiais com baixo consumo energético e mínima geração de efluentes, favorecendo sua aplicação em escala industrial.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Desenvolver e caracterizar micomateriais biodegradáveis a partir da biotransformação de resíduos agroindustriais (casca de aveia e bagaço de laranja) pelo fungo *Panus strigellus*, com foco em suas propriedades físico-químicas, capacidade de absorção de água e potencial de biodegradação, visando sua aplicação como alternativa sustentável aos plásticos utilizados na agricultura.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar diferentes formulações de micomateriais a partir de combinações variadas de casca de aveia e bagaço de laranja como substratos lignocelulósicos para o crescimento de P. strigellus.
- Avaliar a capacidade de intumescimento (absorção de água) dos micomateriais obtidos, determinando sua estabilidade estrutural sob imersão.
- Determinar a solubilidade em água dos resíduos puros e dos micomateriais produzidos, comparando a influência da composição na interação com a umidade.
- Analisar a influência da proporção entre os resíduos utilizados na estrutura, resistência e funcionalidade dos micomateriais, visando aplicações agrícolas como substituição de plásticos convencionais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

Foram utilizados dois resíduos agroindustriais: casca de aveia (CA), fornecida pela empresa SL Alimentos (Mauá da Serra – PR), e bagaço de laranja (BL), proveniente da empresa Sucocítrico Cutrale LTDA (Paranavaí – PR). Os resíduos foram secos em estufa a 60 °C, moídos e peneirados (40–80 mesh) para padronização granulométrica. A cepa fúngica *Panus strigellus* (isolado MP18-01), previamente caracterizada, foi cedida pelo Laboratório de Bioquímica e Biotecnologia da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e registrada no SISGEN (nº

AF29CA9). Foram utilizados também extrato de levedura (Kasvi) e formas de silicone para moldagem dos micomateriais.

3.2 Obtenção de Inóculo

Fragmentos de micélio foram transferidos para placas de Petri contendo 20 mL de meio Batata Dextrose Ágar (BDA), sendo incubadas a 28 °C por 10 dias. Após esse período, fragmentos de 2 × 2 mm da borda das colônias ativas foram utilizados como inóculo nos substratos estéreis.

3.3 Produção de Micomateriais

Quatro formulações foram preparadas com diferentes proporções dos resíduos (peso seco total de 10 g):

- MMA: 100% CA
- MMAL50/50: 50% CA + 50% BL
- MMAL75/25: 75% CA + 25% BL
- MMAL25/75: 25% CA + 75% BL

A cada formulação foram adicionados 10 mL de água destilada e 1% de extrato de levedura. Após homogeneização, os substratos foram autoclavados (120 °C, 15 min) e inoculados com um disco de micélio ativo (~1 cm de diâmetro). Os substratos foram moldados em formas de silicone, acondicionados em sacos plásticos e incubados a 28 °C por 21 dias em estufa.

3.4 Caracterização dos Micomateriais

3.4.1 Cinética de Intumescimento

A capacidade de absorção de água foi avaliada segundo o método de Yun et al. (2008), com modificações. Amostras secas (peso inicial, Wo) foram imersas em 30 mL de água destilada (25 ± 2 °C) e pesadas após tempos variados (até 24 h). O intumescimento foi calculado pela equação:

$SP = (We - Wo) / Wo.$

3.4.2 Solubilidade em Água

A solubilidade foi determinada pela imersão de amostras secas em 30 mL de água destilada com agitação (200 rpm, 1 h), seguida de centrifugação e secagem a peso constante. A solubilidade (%) foi calculada com base na perda de massa.

3.4.3 Biodegradação em Solo

Micomateriais (5 g) foram acondicionados em sacos de organza e enterrados em vasos com mistura solo:areia (1:2 p/p), mantidos a 25 °C por até 30 dias. A perda de massa foi determinada nos dias 15 e 30, expressa em porcentagem:

$Wloss\% = ((Wo - Wi) / Wo) \times 100$

3.4.4 Quantificação de Celulose, Hemicelulose e Lignina

Os teores foram determinados pelas metodologias de Van Soest (1965) (fibras em detergente neutro e ácido) e pelo método TAPPI T222 om-88 para lignina. As análises foram realizadas nas amostras antes e após biodegradação (15 e 30 dias).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Produção e Estrutura dos Micomateriais

As quatro formulações testadas demonstraram efetiva colonização pelos micélios de *Panus strigellus*, resultando em materiais coesos, estruturalmente estáveis e com boa moldagem. Na Figura 1 é possível observar o aspecto macroscópico geral dos micomaterias produzidos, destacando a efetiva colonização dos substratos pelo micélio fúngico. O micélio, responsável pela formação da matriz fúngica branca, encontra-se homogeneamente distribuído por todo o material, deduzindo assim que o fungo *Panus strigellus* foi efetivo em colonizar os substratos testados.

Uma das chaves para o entendimento do processo de colonização em resíduos lignocelulósicos tem sido a observação microscópica do processo. A revisão dos mecanismos de biodegradação de materiais lignocelulósicos realizada por Aguiar e Ferraz (2011) [17], destaca o processo de colonização fúngica em resíduos lignocelulósicos por meio de microscopia eletrônica de varredura, onde se observam hifas fúngicas colonizando os espaços remanescentes do lúmen celular. Neste processo, os fungos produzem diversos metabólitos extracelulares, os quais atuam na degradação da parede celular vegetal que são transformados em moléculas menores e solúveis, tornando-se suscetíveis ao metabolismo intracelular dos fungos.

Figura 1: Colonização de P.strigellus: (A) resíduo de casca de aveia (MMA), e (B) resíduos de casca de aveia e bagaço de laranja (MMAL75/25).

Na Figura 2, é possível observar a estrutura interna dos micomateriais (MMA e MMAL) com auxílio de um microscópio biológico invertido (aumento de 400 x). Nas imagens representadas pelas letras A e B, nota-se que o micélio fúngico apresenta um aspecto semelhante

ao de algodão, preenchendo a estrutura interna do micomaterial e com aparente colonização mais eficiente do substrato MMA. Isso sugere que, assim como no estudo citado, as hifas fúngicas estão produzindo metabólitos extracelulares que degradam a parede celular vegetal. Já na imagem C, é possível observar microscopicamente a parte externa do micomaterial, evidenciando que a superfície está completamente tomada pelo micélio.

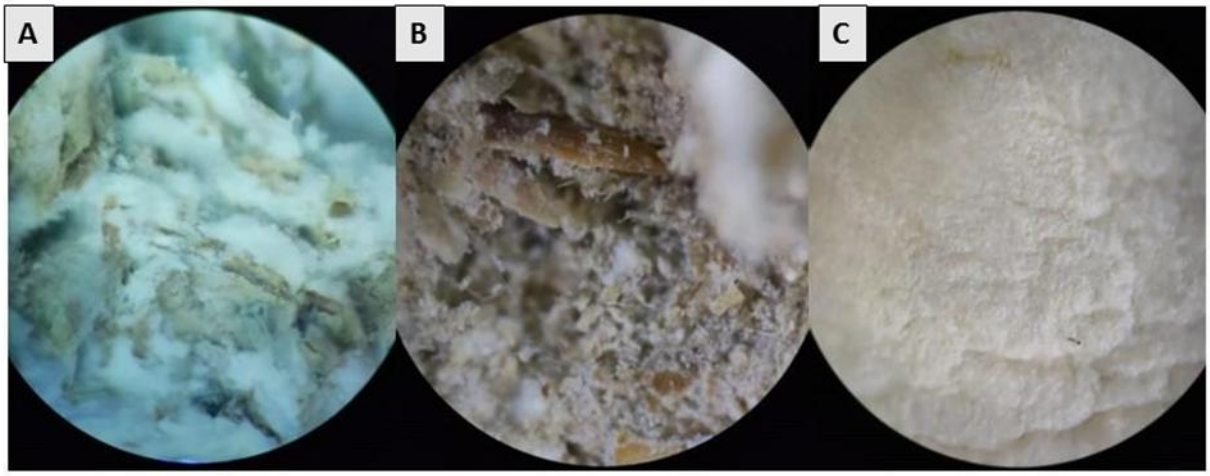

Figura 2: Micrografias tomadas ao microscópio biológico invertido (aumento de 400 x) demonstrando a colonização de P.strigellus: (A) estrutura interna do MMA, (B) estrutura interna do MMAL, (C) superfície do MMA.

4.2 Cinética de Intumescimento

O intumescimento é o processo no qual um material aumento de volume de forma significativa devido à absorção de líquidos, principalmente água [18]. Para determinar o tempo de submersão sem comprometer a integridade estrutural dos micomateriais, foi realizada uma análise inicial. Essa análise considerou a integridade estrutural essencial para possíveis aplicações futuras desses materiais biotransformados. Observou-se que todas as amostras mantiveram sua integridade quando submersas em água destilada por até 24 horas, critério que foi adotado como limite para os testes de cinética de intumescimento. A Figura 3 compara o micomaterial de aveia (MMA) seco com o MMA após 7 horas submerso em água, destacando a expansão do material durante a imersão. Esse comportamento resulta de interações químicas e físicas que promovem a migração de água para dentro da matriz polimérica, ocasionando o inchaço dos materiais.

Figura 3: Intumescimento dos micomateriais de aveia: (A) MMA seco, e (B) MMA submerso em água destilada por 7h.

Nos micomaterias de casca de aveia e bagaço de laranja pode-se observar nas Figuras 4,5 e 6 que também ocorreu a expansão quando compara-se o MMAL seco e o MMAL submerso em água no período de 24h.

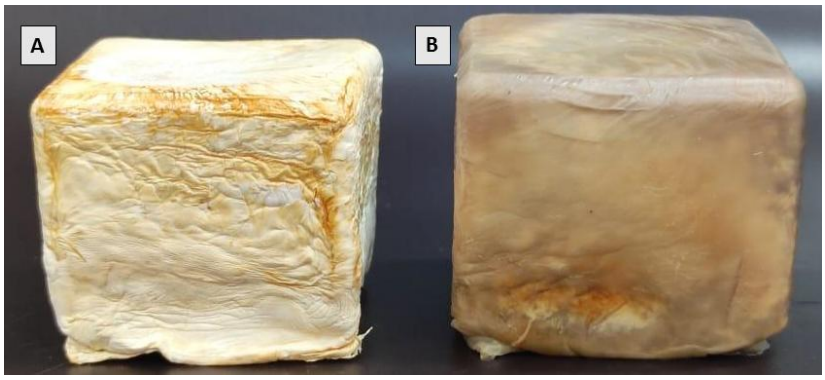

Figura 4: Intumescimento dos micomateriais com proporção de 50% casca de aveia e 50% bagaço de laranja: (A) MMAL seco, e (B) MMAL submerso em água destilada por 24h.

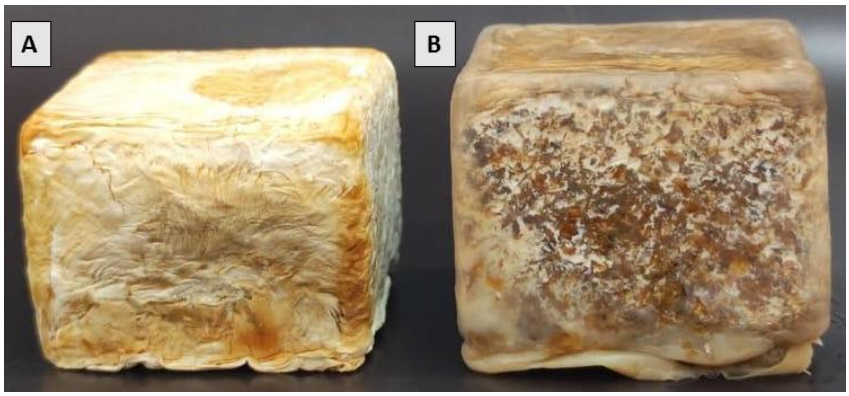

Figura 5: Intumescimento dos micomateriais com proporção de 75% casca de aveia e 25% bagaço de laranja: (A) MMAL seco, e (B) MMAL submerso em água destilada por 24h.

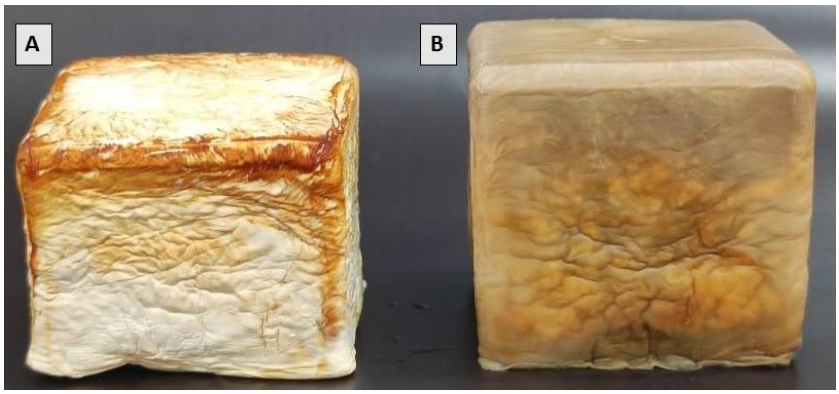

Figura 6: Intumescimento dos micomateriais com proporção de 25% casca de aveia e 75% bagaço de laranja: (A) MMAL seco, e (B) MMAL submerso em água destilada por 24h.

Já o quadro 1 apresenta os resultados quantitativos da absorção de água, evidenciando um aumento volumétrico acentuado na fase inicial do intumescimento do MMA, seguido por uma estabilização após 1 hora de imersão em água. Na fase inicial do experimento, o MMA absorveu água rapidamente devido ao amplo espaço intermolecular entre as cadeias do micélio, o que facilita a infiltração do líquido. Com o tempo, a taxa de absorção diminui, estabelecendo um equilíbrio. Após 1 hora, o MMA havia absorvido 1,39 g de água, o que corresponde a um aumento de 139,92% em relação ao seu peso seco.

Em comparação, os micomateriais compostos por misturas de casca de aveia e polpa cítrica apresentaram menor taxa de intumescimento. A casca de aveia, rica em fibras celulósicas, possui uma estrutura mais permeável à água. Já a polpa cítrica, que contém pectina e outros componentes solúveis, forma géis ao entrar em contato com a água, criando uma barreira gelatinosa que limita a infiltração de água nos espaços intracelulares [13, 19, 20]

A celulose e a lignina presentes na casca de aveia, devido à sua rigidez, também restringem a expansão volumétrica, resultando em menor capacidade de intumescimento em comparação com materiais mais porosos, como o micélio puro ou a palha de cânhamo. Estudos anteriores, como o de Giraldo et al. (2021) [13], confirmam que a interação entre esses materiais cria uma estrutura mais rígida e menos expansível.

Said et al. (2023) [21], observaram que a presença de pectina e celulose pode influenciar a absorção de água, dependendo do grau de reticulação e da estrutura do material. Nesse contexto, o equilíbrio entre a absorção e a gelificação das fibras limita a expansão dos micomateriais mistos. Comparativamente, o estudo de Zimele et al. (2020) [22], com micélio derivado de Trametes versicolor cultivado em substratos de palha de cânhamo, mostrou que as amostras de palha atingiram um grau de intumescimento de 550%, enquanto as de madeira atingiram 400%, devido à formação de uma camada micelial hidrofóbica externa. Esses resultados ajudam a explicar as menores taxas de intumescimento observadas nos micomateriais mistos deste estudo.

Tempo	MMA	MMAL50/50	MMAL 75/25	MMAL25/75
5min	50,7± 0,9a,K	13,6±1,2b,D	9,09±0,7b,H	20,5 ±1,8b,D
10min	83,12±1,2a,J	19,70±0,3b,D	14,41±0,8b,G	23,90±0,9b,D
15min	91,70±2,3a,I	23,79±0,5b,D	18,05±1,0b,F	26,7±0,7b,D
20min	100,62±0,1a,H	26,9±0,8b,C	20,59±0,1b,F	29,60±0,9b,C
25min	107,36±0,7a,G	28,73±1,7b,C	22,41±0,8b,E	31,15±1,2b,C
30min	113,90±0,1a,F	30,85±1,2b,C	24,34±1,2b,E	31,95±0,3b,C
35min	123,1±2,1a,E	32,73±1,1b,C	25,48±0,3b,E	32,97±0,5b,C
40min	128,57±0,4a,D	34,16±1,6b,C	27,62±0,2b,D	33,90±1,2b,C
45min	135,17±0,1a,C	36,22±0,4b,B	28,54±1,3b,D	34,80±0,9b,C
50min	136,88±0,2a,B	37,25±1,3b,B	29,63±0,7b,D	35,60±1,9b,C
55min	137,88±0,2a,A	38,82±1,3b,B	30,24±1,0b,D	36,73±1,5b,C
60min	139,92±0,1a,A	39,66±0,9b,B	32,55±1,1b,C	38,14±0,7b,B
2h	139,59±0,3a,A	42,68±0,2b,A	35,44±0,7b,C	41,21±0,2b,B
3h	139,30±0,3a,A	46,05±2,1b,A	39,18±0,9b,B	44,26±1,1b,B
4h	138,76±0,4a,A	48,47±0,2b,A	41,67±1,6b,B	46,86±0,8b,B
24h	138,75±0,5a,A	50,24±1,5b,A	44,28±1,3b,A	48,35±1,4b,A

Quadro 1: Cinética de intumescimento dos micomateriais (MMA e MMAL).

4.3 Solubilidade

A solubilidade é uma propriedade fundamental para avaliar a interação dos materiais com líquidos, especialmente em contextos agrícolas e biotecnológicos. No presente estudo, observou-se uma variação significativa nos índices de solubilidade entre as amostras, conforme apresentado no Quadro 2. A casca de aveia *in natura* (CA) demonstrou uma solubilidade de

22,36%, indicando uma capacidade moderada de dissolução em água. Esse comportamento pode ser atribuído à sua composição rica em fibras e polissacarídeos, que formam interações com moléculas de água [13]. Em contraste, o micomaterial de aveia (MMA) apresentou uma solubilidade consideravelmente menor (13,76%), refletindo a resistência do compósito à penetração de água. Este fenômeno pode ser explicado pela presença de um revestimento micelial fúngico hidrofóbico, que atua como uma barreira protetora contra a entrada de líquidos, conforme relatado por Apples et al. (2019) [9].

A maior solubilidade observada no bagaço de laranja (BL) em comparação à casca de aveia (CA) (22,36% -CA e 42,27%, Quadro 2) pode ser explicada pela diferença em sua composição estrutural. O BL é rico em pectina, um polissacarídeo hidrofílico com alta capacidade de absorver água e se dissolver, resultando em maior solubilidade. Além disso, o BL possui menor quantidade de lignina, um componente estrutural que confere rigidez e reduz a solubilidade de materiais vegetais [18, 21]. A casca de aveia, por outro lado, contém uma maior quantidade de lignina e celulose, conferindo-lhe maior resistência à dissolução em água, explicando sua solubilidade relativamente baixa [13].

Quando o bagaço de laranja é incorporado ao micomaterial, como nos casos do MMAL50/50, MMAL75/25 e MMAL25/75, a quantidade aumentada de pectina pode formar uma matriz mais coesa e densa dentro da estrutura do compósito. Embora a pectina isoladamente seja solúvel, a sua combinação com outros componentes, como lignina e celulose, pode criar uma estrutura mais compacta e menos permeável à água. A compactação reduz a exposição das fibras hidrofílicas à água, diminuindo a solubilidade do material [22].

Portanto, a inclusão do bagaço de laranja no micomaterial resulta em uma matriz com menor solubilidade, uma vez que a pectina interage com outros polímeros do compósito, criando uma barreira mais resistente à penetração da água. Esse efeito é vantajoso para aplicações que demandam materiais com alta estabilidade em ambientes úmidos [23]

Amostra	**Solubilidade (%)**
CA	22,36±1,2[b]
BL	42,27±1,3[a]
MMA	13,76± 1,7[c]
MMAL50/50	5,43±0,9[e]
MMAL75/25	7,72±2,1[d]
MMAL25/75	4,13±1,1[e]

Fonte: autoria própria.

Quadro 2: Solubidade em água da casca de aveia (CA), bagaço de laranja (BL) e do micomaterial (MMA e MMAL).

[a]Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p 0,05).

Além disso, os micomateriais com a mistura de resíduos (MMAL50/50, MMAL75/25 e MMAL25/75) apresentaram valores de solubilidade ainda menores, com destaque para o

MMAL25/75, que apresentou a menor solubilidade (4,13%). Isso sugere que a adição de pectina ao material pode ter reduzido a permeabilidade do compósito, possivelmente devido à formação de uma matriz mais densa e coesa, diminuindo a interação com moléculas de água [23]. Esses resultados indicam que o aumento da proporção de pectina no micomaterial pode ser uma estratégia eficaz para reduzir a solubilidade e melhorar a resistência à água, o que é vantajoso para aplicações que requerem maior estabilidade em ambientes úmidos [10]. Dessa forma, a escolha adequada da proporção de lignina e pectina pode ser ajustada conforme a necessidade de desempenho do material em diferentes aplicações industriais ou agrícolas.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou a viabilidade da produção de micomateriais biodegradáveis a partir da biotransformação de resíduos agroindustriais – casca de aveia e bagaço de laranja – pelo fungo *Panus strigellus*. As formulações testadas apresentaram colonização eficiente, resultando em materiais coesos, com boa moldagem e características estruturais adequadas para aplicações agrícolas.

A capacidade de absorção de água, especialmente nas formulações com maior proporção de casca de aveia, indica que os micomateriais podem atuar na retenção de umidade em substratos, contribuindo para a conservação hídrica em sistemas agrícolas. Por outro lado, as formulações contendo bagaço de laranja apresentaram menor intumescimento e solubilidade, demonstrando maior resistência à água, o que é vantajoso para aplicações que exigem durabilidade em ambientes úmidos.

A análise por FT-IR confirmou a presença de polissacarídeos estruturais, quitina e compostos fúngicos típicos, reforçando a integridade da matriz micelial. Os testes de biodegradação evidenciaram que os micomateriais se decompõem significativamente em solo, com perda de massa de 26% em 30 dias e redução progressiva de hemicelulose e lignina, sugerindo uma degradação seletiva e ambientalmente segura.

Esses resultados comprovam que os micomateriais desenvolvidos apresentam potencial como substitutos sustentáveis aos plásticos convencionais utilizados na agricultura, especialmente em aplicações como bandejas de mudas, vasos temporários e coberturas de solo biodegradáveis. A utilização de resíduos locais valoriza subprodutos da agroindústria, promovendo inovação alinhada à economia circular, à bioeconomia e à agricultura regenerativa.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a ampliação dos testes mecânicos, térmicos e de desempenho em campo, além da avaliação do impacto desses materiais na microbiota do solo e em culturas agrícolas, visando sua validação em escala piloto e posterior aplicação comercial.

RECONHECIMENTOS

Os autores agradecem, com reconhecimento, o apoio financeiro da CAPES PROEX (88887.807683/2023-00), do CNPq (306249/2023-5), da Fundação Araucária – NAPI Biodiversidade, Recursos Genéticos e Biotecnologia (20.220.599-2) e do INCT MicroAgro (465133/2014-2). Este trabalho também contou com o suporte da chamada conjunta BiodivERsA 2019–2020. Agradecemos ainda ao Laboratório Multiusuário da Universidade Estadual de Londrina (UEL) pela infraestrutura e apoio técnico disponibilizados.

REFERÊNCIAS

1. Moreira AA, de Carvalho FA, Bilck AP, et al (2023) Tannin improves the processability and delays the biodegradability of poly (lactic acid)-starch-based thermoset materials produced by injection molding made with renewable compounds. J Appl Polym Sci 140:e53815. https://doi.org/10.1002/APP.53815
2. Barta DG, Simion I, Tiuc AE, Vasile O (2024) Mycelium-Based Composites as a Sustainable Solution for Waste Management and Circular Economy. Materials (Basel) 17:. https://doi.org/10.3390/ma17020404
3. Voutetaki ME, Mpalaskas AC (2024) Natural Fiber-Reinforced Mycelium Composite for Innovative and Sustainable Construction Materials. Fibers 12:. https://doi.org/10.3390/fib12070057
4. Ratuchne A, Lonardoni EA, Bueno CE, et al (2023) Pleurotus ostreatus and a novel fungal composite: Development and bioremediation of plastic wastes. Resour Conserv Recycl Adv 19:. https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200167
5. Sisti L, Gioia C, Totaro G, et al (2021) Valorization of wheat bran agro-industrial byproduct as an upgrading filler for mycelium-based composite materials. Ind Crops Prod 170:113742. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113742
6. Girometta C, Picco AM, Baiguera RM, et al (2019) Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. Sustain 11:. https://doi.org/10.3390/su11010281
7. Muiruri JK, Chuan Yeo JC, Zhu Q, et al (2023) Sustainable Mycelium-Bound Biocomposites: Design Strategies, Materials Properties, and Emerging Applications. ACS Sustain Chem Eng 11:6801–6821. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c00831
8. Meyer V, Basenko EY, Benz JP, et al (2020) Growing a circular economy with fungal biotechnology: A white paper. Fungal Biol Biotechnol 7:1–23. https://doi.org/10.1186/s40694-020-00095-z
9. Appels FVW, Camere S, Montalti M, et al (2019) Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. Mater Des 161:64–71. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027
10. Ballen Sierra LA, Mendes-Pereira T, García GJY, et al (2023) Current situation and future perspectives for the use of fungi in the biomaterial industry and proposal for a new classification of fungal-derived materials. PeerJ Mater Sci 5:e31. https://doi.org/10.7717/peerj-matsci.31
11. Dhiman S, Kaur P, Narang J, et al (2024) Fungal bioprocessing for circular bioeconomy: Exploring lignocellulosic waste valorization. Mycology. https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2316824
12. Marim BM, Mantovan J, Pereira JF, et al (2023) Sustainable process based on reactive extrusion to modify cellulose from oat hull with sodium trimetaphosphate and tartaric acid. Polym Bull. https://doi.org/10.1007/s00289-023-04825-2
13. Gil Giraldo GA, Mantovan J, Marim BM, et al (2021) Surface Modification of Cellulose from Oat Hull with Citric Acid Using Ultrasonication and Reactive Extrusion Assisted Processes. Polysaccharides 2:218–233. https://doi.org/10.3390/polysaccharides2020015
14. Pereira JF, Oliveira ALM, Sartori D, et al (2023) Perspectives on the Use of Biopolymeric Matrices as Carriers for Plant-Growth Promoting Bacteria in Agricultural Systems. Microorganisms 11:1–17. https://doi.org/10.3390/microorganisms11020467

15. Vargas-Isla R, Hanada RE, Ishikawa NK (2012) Sawdust and fruit residues of Central Amazonian for Panus strigellus spawn's production. Pesqui Florest Bras 32:7–11. https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.07

16. Sousa-Guimarães DK, Alves-Silva G, Bittencourt F, et al (2024) A comprehensive phylogeny of Panus (Panaceae, Polyporales) and revisited Brazilian diversity. Mycol Prog 23:. https://doi.org/10.1007/s11557-024-01955-3

17. Aguiar A, Ferraz A (2011) Revisão. Quim Nova 34:1729–1738

18. Marim BM, Mantovan J, Gil-Giraldo GA, et al (2022) Reactive Extrusion-Assisted Process to Obtain Starch Hydrogels through Reaction with Organic Acids. Polysaccharides 3:792–803. https://doi.org/10.3390/polysaccharides3040046

19. Marim BM, Mantovan J, Giraldo GAG, Mali S (2020) Environmentally friendly process based on a combination of ultrasound and peracetic acid treatment to obtain cellulose from orange bagasse. J Chem Technol Biotechnol. https://doi.org/10.1002/jctb.6576

20. Mantovan J, Giraldo GAG, Marim BM, et al (2021) Cellulose-based materials from orange bagasse employing environmentally friendly approaches. Biomass Convers Biorefinery. https://doi.org/10.1007/s13399-021-01279-2

21. Merino D, Mansilla AY, Salcedo MF, Athanassiou A (2023) Upcycling Orange Peel Agricultural Waste for the Preparation of Green Hydrogels as Active Soil Conditioners. ACS Sustain Chem Eng 11:10917–10928. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c02992

22. Abid N, Masmoudi MA, Megdiche M, et al (2022) Biochar from olive mill solid waste as an eco-friendly adsorbent for the removal of polyphenols from olive mill wastewater. Chem Eng Res Des 181:384–398. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.02.029

23. Roman-Benn A, Contador CA, Li MW, et al (2023) Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. Food Chem Adv 2:100192. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100192