ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

BIOFABRICAÇÃO DIGITAL PARA A PRODUÇÃO DE MICÉLIOS NA ARQUITETURA E DESIGN

DE REZENDE, Juliana Barros
(jubarrosrezende@gmail.com)
Centro Universitário Newton Paiva, Brasil

WEKHAIZER, Carla Queiroga
(carlaqw@gmail.com)
Centro Universitário Newton Paiva, Brasil

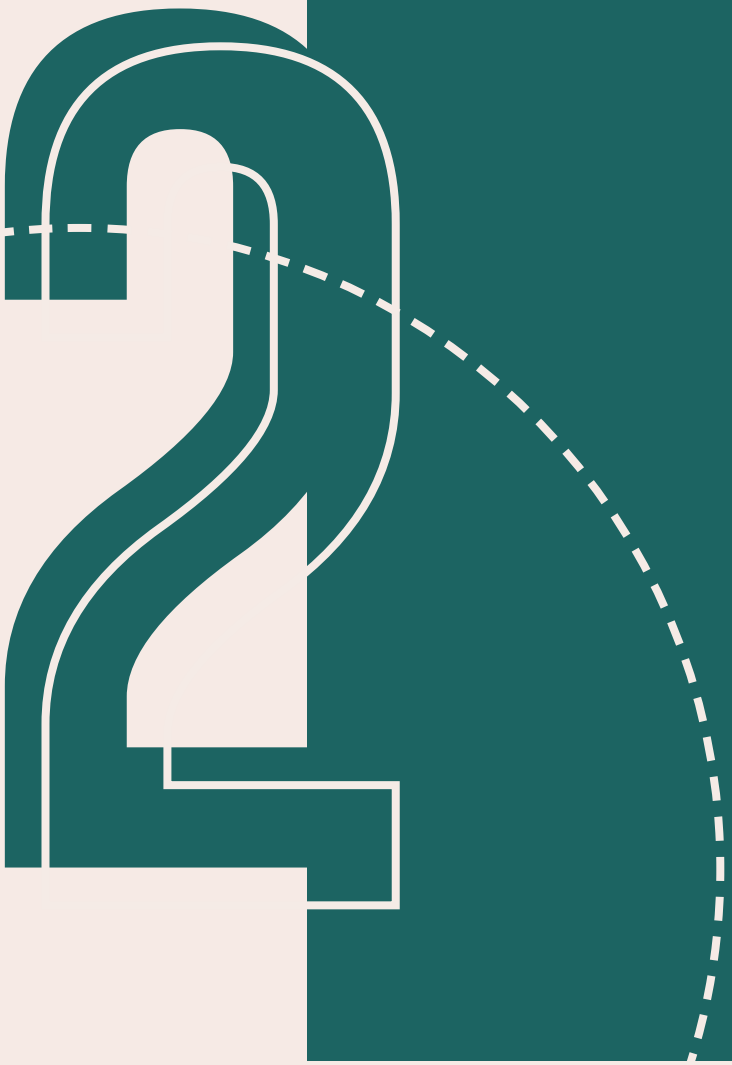
VALE, Jaqueline Leite Ribeiro Vale
(jaquelinevale@gmail.com)
Centro Universitário Newton Paiva, Brasil

DE PAULA, Juliana Tamara da Rosa
(julianatamara78@gmail.com)
Centro Universitário Newton Paiva, Brasil

DE SOUZA, Rafael Augusto Santos
(elrafajeser@gmail.com)
Centro Universitário Newton Paiva, Brasil

SILVA, Lanay Kimberly Souza
(lanaykimberlys.s.2@gmail.com)
Centro Universitário Newton Paiva, Brasil

VERTICCHIO, Victória Júlia Oliveira
(victoriajuliaov@gmail.com)
Centro Universitário Newton Paiva, Brasil



PALAVRAS-CHAVE:

Sustentabilidade, Biomateriais, Biodegradável, Biomimética, Biofabricação Digital.

RESUMO

A busca por materiais sustentáveis e biodegradáveis é crescente em substituição aos derivados do petróleo, comumente utilizados pela indústria, assim como a reestruturação das formas de construção, na qual a arquitetura se adapte às novas tecnologias digitais. Neste sentido, os FabLabs, laboratórios de fabricação e prototipagem, apresentam diversas possibilidades de produção dessas tecnologias, baseando-se no conceito de economia circular. O objetivo deste trabalho é apresentar o processo para a definição de uma metodologia em código aberto, através da experiência realizada na produção de biocompósitos destinados à arquitetura e design, a partir de um método de biofabricação de baixo consumo energético com o uso de subprodutos e resíduos agrícolas. Após as análises, é possível concluir sobre a variabilidade dos estudos relacionados ao uso destes materiais à base de micélio, fibras naturais de crescimento fúngico, e sobre a necessidade de se buscar uma abordagem padronizada de informação para projeto e produção, integrando biomimética ao design e à tecnologia computacional para a produção de materiais eficientes e ecologicamente corretos a baixo custo como alternativa para o mercado.

1. INTRODUÇÃO

Em vias de estabelecer um desenvolvimento mais sustentável para o Brasil, a construção civil aparece como fator de peso importante nesse processo. Cada dia mais, a busca por materiais com menos impacto cresce no mercado. O aumento da população gera uma grande demanda na indústria de materiais de construção, especialmente na última década, causando um crescimento no volume de descarte desses materiais e uma preocupação com seu reaproveitamento. Além disso. a produção de materiais convencionais, como cimento, tijolos e aços consomem muita energia térmica e elétrica poluindo o ar, a água e a terra (MADURWAR et al., 2013).

De acordo com Ghazvinian (2021), na história da arquitetura, novos paradigmas para design e produção foram criados a partir de tecnologias adaptadas de outras disciplinas, como, por exemplo, a mudança ocorrida na arquitetura devido à Revolução Industrial e, nos séculos XIX e XX, à evolução das engenharias e da ciência. Pelos problemas ambientais existentes no século XXI, uma nova mudança de paradigma se torna necessária e uma maneira possível para abordar tais questões é retornar à natureza e aproveitar os biomateriais (GHAZVINIAN, 2021). Para melhor se adequar às novas tecnologias e pensar em um design do produto para aplicação na arquitetura, a biofabricação se torna essencial.

Biofabricação é um campo de pesquisa em evolução que recentemente recebeu atenção significativa, em particular, no campo da Engenharia de Tecidos e na Medicina Regenerativa (GROLL et al., 2016). Pesquisa em andamento, como a de Groll et al. (2016) explora novos modos de design e fabricação combinando ferramentas e tecnologias digitais com sistemas biológicos vivos dentro de ambientes, a fim de induzir funções biológicas específicas e produção de materiais e processos, com o objetivo de projetar e implementar uma fabricação biológica técnica, usando bactérias, para produzir componentes físicos para arquitetura e design de produto.

Uma mudança global na forma como produzimos e consumimos implica em uma rápida evolução dos sistemas de produção, e assim como a revolução trazida pelo computador pessoal e pela Internet, as tecnologias de fabricação digital iniciaram uma transformação radical na indústria e consequentemente na produção e consumo globais na última década (GERSHENFELD, 2012). E os FabLabs se tornaram atores importantes nessa transição.

Os materiais convencionais e poliméricos utilizados na construção civil que possuem um impacto negativo sobre o meio ambiente podem ser substituídos por materiais de nova geração baseados em materiais biológicos (RĂUT et al., 2021). Microrganismos são versáteis e de rápido crescimento em substratos de baixo custo, como o micélio.

O emprego do micélio é uma alternativa viável para a obtenção de um material biocompósito inerte, não tóxico, seguro e ecologicamente correto (RĂUT et al., 2021). Nesse sentido, o emprego do micélio para produção de materiais para aplicação na construção civil funciona como conciliador de número expressivo de dimensões da sustentabilidade.

Os cogumelos se reproduzem por meio de esporos microscópicos, visíveis como poeira quando coletados em massa. Quando a umidade, a temperatura e os nutrientes estão corretos, os esporos liberados de um cogumelo (essencialmente sementes de cogumelo) germinam em filamentos de células densamente unidos denominados hifas. À medida que cada hifa cresce e se ramifica, ela forma conexão com outras hifas de esporos compatíveis para criar uma camada de micélio, que amadurece, reunindo nutrientes e umidade. Em condições ideais, a transformação de esporos em micélio, em um cogumelo, pode levar apenas alguns dias (STAMETS, 2006).

A escolha do substrato para produção do material à base de micélio também pode contribuir para uma produção de um material sustentável. Os resíduos sólidos gerados pela agroindústria são uma opção, sendo estes considerados um problema sério nos países em desenvolvimento, tornando o processo de produção que utiliza o micélio sustentável, de baixo consumo energético e ecologicamente benéfico com absorção de gás carbônico durante seu crescimento e armazenamento no solo, sendo uma alternativa realista em substituição aos derivados do petróleo (HANEEF et al., 2017).

O conteúdo lignocelulósico presente no material agroindustrial atua como um alimento para o micélio e fornece nutrientes suficientes para o seu crescimento (JOSHI et al., 2020). A reutilização de tais resíduos através da adoção de biocompósitos de micélio na construção civil pode ser uma alternativa sustentável de material, não apenas para problema de poluição, mas também para o problema do aterro e do alto custo dos materiais de construção convencionais.

As espécies de fungo do gênero *Pleurotus* são de cultivo relativamente fácil e conseguem crescer em uma grande quantidade de substratos umedecidos e esterilizados ou pasteurizados (ELLIOTt, 1997) como palhas de cereais, grama seca, folhagens (MADAN et al., 1987; SCHMIDT et al., 2003), serragem (FASIDI, 1996), resíduos da produção de milho, cascas de sementes, resíduos de café (DA SILVA, et al., 2012; DA SILVA, et al., 2010; NUNES et al., 2017) bagaço de cana de açúcar (MORADALI et al., 2007), papel, papelão e subprodutos da indústria papeleira, dentre muitos outros (CHANG; MILES, 1989; FAN; DING, 1990; YANG, 1986). Pesquisas indicam também que a espécie *Pleurotus ostreatus*, conhecido como *shimeji*, obteve um bom desenvolvimento adotando o plástico oxi-biodegradável como substrato, contribuindo para sua degradação (DA LUZ et al., 2013), além de outros materiais e substâncias poluentes como óleo e derivados do petróleo (AHMADI, 2016).

Em 2020, a pandemia de covid-19 trouxe cenários até então fora de todos os padrões traçados pela comunidade científica. Este contexto sem precedentes desperta a urgência em tornar mais céleres e acessíveis as práticas propostas pela Economia Circular e a democratização das tecnologias de fabricação digital. Estes fatores, aliados ao mapeamento dos recursos locais para produção sustentável de bioprodutos, constituem o ecossistema adequado para fazermos a pergunta: ao invés de transformar, produzir e descartar, não podemos crescer produtos?

O objetivo deste trabalho é apresentar o processo para a definição de uma metodologia em código aberto de concepção de biocompósitos destinados à arquite-

tura e design, na fase atual em que se encontra a pesquisa. A partir da análise das metodologias de produção adotadas em vários estudos já realizados, será possível propor um adequado para cada tipo de produto.

1.1 BIOFABRICAÇÃO DIGITAL

É crescente o reconhecimento por todos de que o processo linear de consumo e produção predominante desde a Revolução Industrial contribui para o aquecimento global, e a Economia Circular tem sido uma temática cada vez mais frequente no Fórum Econômico Mundial (MACARTHUR, 2013).

A fabricação digital, considerada um dos principais fatores para a democratização tecnológica promovida pela chamada terceira revolução industrial só sobreviverá em um mundo guiado pelo desenvolvimento sustentável se houver uma substituição dos insumos atualmente utilizados por aqueles que obedecem a cadeias produtivas circulares (TROXLER, 2014). Neste cenário, foi constatado um aumento da busca de materiais e ciclos de produção sustentáveis na rede global de FabLabs, e começaram a ser difundidos na rede projetos abertos de produção de Biomateriais e grupos de pesquisa independentes como o Biofab Forum (https://biofabforum.org/c/biomaterials), tornando cada vez mais acessível a inovação por meio da Biofabricação Digital (PISTOFIDOU et al., 2020).

Essas plataformas digitais são bancos de dados de código aberto que permitem o compartilhamento de práticas e inspirações, além de colaborações transdisciplinares com o objetivo de encontrar soluções sustentáveis e acessíveis para os recursos desperdiçados. Isso nutre uma abordagem de fabricação descentralizada, em contraponto às patentes e controle de propriedade intelectual (IP) (GHAZVINIAN, 2021). Nesse contexto, a fabricação pessoal pode se tornar uma alternativa ao consumo em massa para mais cidadãos à medida que esses ganham acesso às oportunidades de fabricação digital (STAMETS, 2006).

Conforme apontado por Ratto (2011), o design aberto proporciona um olhar mais crítico sobre as práticas atuais, seja em instituições, empresas ou consumidores, em uma sociedade mediada pela tecnologia e informação. O FabLab é um palco perfeito para essa temática conhecida como *Critical Making* (RATTO, 2011), uma vez que se trata de oficinas comunitárias onde pessoas usam equipamentos para criar, num processo social e colaborativo (KOHTALA, 2017) O compartilhamento de arquivos e instruções de produção e design tornou-se uma ferramenta necessária para projetos e iniciativas que procuram transmitir um diálogo crítico sobre como fazer, produzir e fabricar coisas que hoje dominam a vida dos moradores das cidades (TROXLER, 2019).

Com base no conceito de *Critical Making* a partir de práticas interdisciplinares, o FabLab do Centro Universitário Newton Paiva (Belo Horizonte, MG), reuniu outros laboratórios em colaboração com este projeto, como os de Química, Engenharia Estrutural e de Materiais e Microbiologia para a produção dessa pesquisa.

2. METODOLOGIA

Para a implantação da cadeia produtiva circular por meio do aproveitamento de resíduos locais - um dos valores preconizados pela Global Fab City Network (DIEZ, 2017) - foram coletados resíduos agrícolas de uma lavoura de subsistência no município de Formiga, região sudeste do estado de Minas Gerais, Brasil, próximo a Belo Horizonte.

Foram selecionados substratos com desempenho já testado e comprovado na literatura científica, como palha de feijão, casca de café, palha de milho, bagaço de cana-de-açúcar e capim braquiária. Resíduos de madeira brasileira como *Hymenolobium* e *Tectona grandis* e resíduos de MDF por CNC, ambos do Fab Lab Newton, também compuseram os testes de substrato em comparação aos já estudados por outros autores.

2.1 CULTIVO DOS MICÉLIOS

A técnica de produção dos materiais compósitos consiste, como já mencionado inicialmente, na escolha da espécie e dos substratos a serem colonizados. De maneira geral, essa segue um protocolo que foi compilado por Elsacker et al. (2019) a partir da revisão de manuais de código aberto e artigos, apresentado a seguir, que demonstra toda a cadeia produtiva baseada no conceito de economia circular:

1. Primeiramente, o cultivo do micélio é feito em substratos nutritivos como ágar, grãos ou soluções líquidas;
2. O substrato é autoclavado ou pasteurizado para eliminar qualquer tipo de microrganismo que possa contaminar o crescimento do micélio sadio;
3. Uma pequena proporção do micélio já crescido é inoculada no substrato, sendo este pré-umedecido (antes da autoclavagem) ou com posterior adição de água esterilizada. A fim de potencializar seu desenvolvimento, uma solução estéril nutritiva pode ser adicionada;
4. O substrato inoculado é colocado em molde esterilizado com a forma definida, e vedado com filme permeável para troca de ar;
5. O micélio se desenvolve no substrato em um ambiente controlado e em condições adequadas, podendo permanecer somente no molde ou, ao final do processo, fora dele para solidificar sua superfície externa;
6. O material já crescido é tratado a uma temperatura e tempo determinados com o objetivo de cessar seu crescimento e desidratá-lo;
7. Um revestimento ou um pós-processamento pode ser aplicado ao material para melhorar suas propriedades.

As etapas de 1 a 5 descritas acima já foram cumpridas na pesquisa, e os biocompósitos estão em processo de crescimento nos moldes até que o substrato esteja completamente colonizado, seja cessado seu crescimento e desidratado. Em seguida, serão feitas as medições e ensaios para caracterização dos mesmos.

2.2 MICRORGANISMO E PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS SEMENTES

As espécies de cogumelos adotadas para este estudo foram fornecidas pela empresa Cogu das Minas, uma produtora de cogumelos sediada em Belo Horizonte, sendo elas: *Pleurotus ostreatus* (shimeji), *Pleurotus ostreatus shimofuri* (*shimofuri*), *Pleurotus citrinopileatus* (*citrus* ou *shimeji* amarelo) e *Pleurotus djamor* (*shimeji* salmão). Estas cepas são amplamente adotadas em pesquisas semelhantes, pois, como já foi mencionado, são fáceis de obter, crescem em vários tipos de substratos, e geram materiais com boas características (Figura 1).



Figura 1. Espécies de fungos adotados: [a] *Pleurotus ostreatus* (shimeji); [b] *Pleurotus ostreatus shimofuri* (*shimofuri*); [c] *Pleurotus citrinopileatus* (*citrus* ou *shimeji* amarelo); [d] *Pleurotus djamor* (*shimeji* salmão).

As cepas foram clonadas, cultivadas em caldo nutriente e incubadas a 25°C. Para a produção das sementes, que tem como objetivo aumentar a biomassa de micélios antes da inoculação nos substratos, foi adotado o grão de trigo previamente lavado em água corrente para retirar as impurezas, hidratado em água destilada com adição de 0,7% de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) por 24h. Em seguida, foram cozidos por 10 minutos e drenados. Os recipientes foram, então, esterilizados em autoclave a 121°C por 1h e, após resfriamento, foram inoculados com uma pequena proporção do caldo nutriente com o micélio de cada espécie já desenvolvidos, utilizando o bico de Bunsen como meio de esterilização da área trabalhada. Após aproximadamente 15 dias de incubação em estufa com temperatura e umidade controladas, observou-se o crescimento significativo dos micélios.

2.3 MASSA DE SUBSTRATO, MÉTODOS DE TRATAMENTO E INOCULAÇÃO

Os substratos ideais para a produção de compostos a base de micélio são aqueles considerados fibrosos ou particulados como as palhas, capins, bagaços, serragens ou lascas de madeira, grãos e sementes em geral, folhas, estrume de vaca, entre outros, sendo esses abundantemente produzidos e descartados pela produção agrícola e agropecuária brasileira.

Resíduos agrícolas da região e resíduos de madeira brasileira como *Hymenolobium* e *Tectona grandis* e resíduos de MDF por CNC, ambos do FabLab Newton, também compuseram os testes de substrato em comparação aos já estudados por outros autores. A Figura 2 apresenta os tipos de substratos adotados e a Tabela 1

um sumário dos tipos de fibras, fontes, processamento, dimensão das partículas e sigla dos substratos.



Figura 2. Tipos de fibras naturais adotadas na: [a] palha de milho (PM); [b] palha de feijão (PF); [c] casca de café (CC); [d] bagaço de cana de açúcar + capim braquiária + serragem de madeira dura (BC+CB+SMD); [e] serragem de madeira dura do FabLab (SMD); [f] pó de MDF do FabLab (MDF)

Grupo	Fonte	Tipo	Processamento	Dimensão das partículas (mm)	Sigla
Resíduos de agricultura	Colheita	Palha de milho	Picado	5-25	PM
	Colheita	Palha de feijão	Picado	25-50	PF
	Colheita	Casca de café	Nenhum	10-20	CC
	Restos de beneficiamento	Bagaço de cana de açúcar	Triturado	<10	BC
		Capim braquiária	Triturado	5-10	CB
Resíduos do FabLab	madeira	Serragem de madeira dura	Aparas	5-25	SMD
		MDF	Pó	<0,5	MDF

Tabela 1. Sumário dos tipos de fibras, fontes, processamento, dimensão das partículas e sigla do substrato

Inicialmente, alguns substratos foram triturados para reduzir a dimensão das partículas, sendo eles: PM, PF, BC e CB. Os substratos PM, PF, CC e SMD foram embebidos com 75% de seu volume em água destilada para hidratação por aproximadamente 2 horas com adição de 0,7% de $CaCO_3$, pois a umidade é muito importante para o desenvolvimento do fungo. Já a CC, a fim de reduzir alguns compostos que poderiam inibir o crescimento de fungos contaminantes, foi fervida em água por aproximadamente 2 horas (DA SILVA et al., 2012).

Pesquisas sugerem que o tipo de fibra tem uma influência menor na resistência à compressão do que a condição da fibra (solta, cortada, pré-comprimida), demonstrando que o processo de fabricação impacta nas propriedades do produto (ELSACKER et al., 2019).

Com o objetivo de manter a umidade interna dos substratos, eliminando todo o excesso de água, os mesmos foram prensados manualmente e drenados, transferidos para sacos de PEAD (Polietileno de alta densidade) e autoclavados por 45 minutos a 121°C. Após atingir a temperatura ambiente, os substratos receberam a semente na proporção de 5% e foram incubados a 25°C, em estufa, sem exposição à luz.

2.4 DESENVOLVIMENTO DAS FÔRMAS

Para desenvolvimento de um bioproduto, o processo criativo teve como principal critério representar a estreita relação com a natureza. O formato dos moldes em pentágonos gera composições modulares inspiradas na arquitetura das colméias. Na superfície foi projetado em modelagem 3D um padrão de triângulos inspirado na rede de micélio encontrada nas árvores.

Assim, buscamos, por meio dos conceitos da Biomimética (BENYUS, 2021), formas da natureza cuja geometria permitisse a modularidade e representasse esteticamente o micélio (Figura 3).

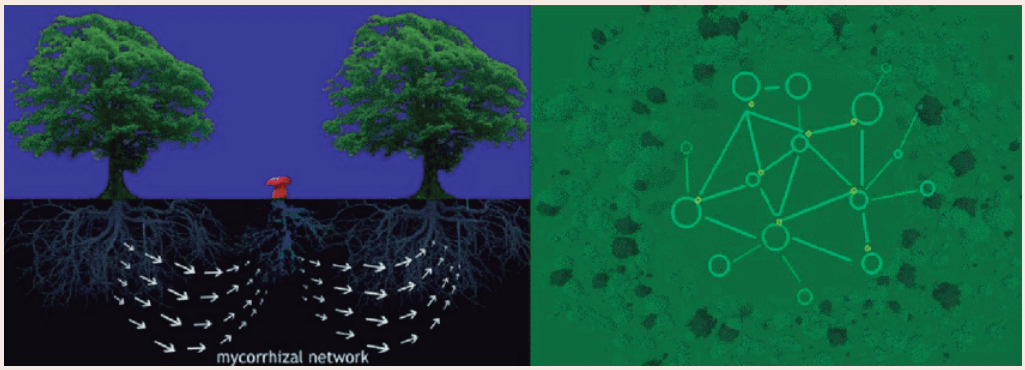


Figura 3. Rede de padrões micorrízicos para inspiração biomórfica. Fonte: Leudar (2018). Surrounded: A Series of Sound Installations That Combine Plant Electrophysiology and 3D Sonic Art. Leonardo. 51. 10.1162/LEON_a_01338.

A partir desse conceito, foram idealizadas algumas tipologias de fôrmas para o crescimento do micélio objetivando uma diversidade de produtos de aplicações na arquitetura e design, sendo eles tijolos, revestimentos acústicos, recheios para painéis, objetos de decoração, etc.

Para a fabricação das mesmas, foram produzidos, inicialmente, modelos tridimensionais por software de computador e impressos em 3D usando filamentos de Poliácido Láctico (PLA) de 2,75 mm, material este biodegradável (Figura 4a e b) e volumes de *Medium Density Fiberboard* (MDF) colados (Figura 4c). O modelo da Figura 4a tem dimensões de 5cm de altura e diâmetro de 12cm, o da Figura 4b mede 3cm de altura e diâmetro de 17cm e da Figura 4c tem altura de 2cm e lados de 15cm.

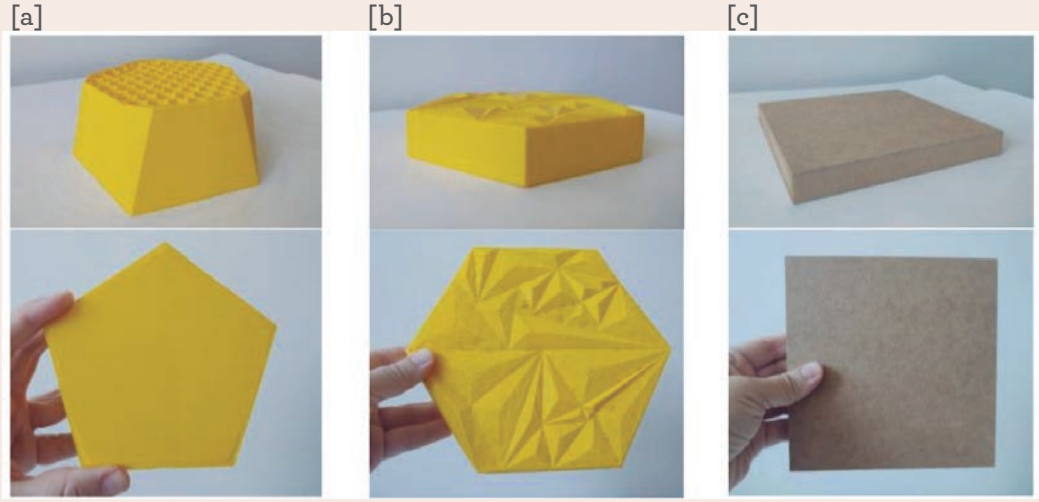


Figura 4. Volumes 3D dos protótipos para as fôrmas: [a] e [b] feitos em PLA e [c] feito em MDF.

Em seguida, os modelos foram prensados em máquina de termoformagem a vácuo portátil, com mesa de 22 x 22 cm e profundidade de 8 cm, usando placas de *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG) com espessura de 1 mm e geradas, então, as fôrmas. Estas podem ser reutilizadas diversas vezes para a produção dos materiais além de serem, também, biodegradáveis. No caso da fôrma para os tijolos, as peças foram dimensionadas e cortadas a laser usando restos de chapa de *Medium Density Fiberboard* (MDF) de 6 mm e montadas formando um paralelepípedo.

2.5 TRANSFERÊNCIA PARA AS FÔRMAS

Após 15 dias, com os substratos já colonizados, os mesmos foram transferidos para as fôrmas de PETG e MDF, após a esterilização das mesmas. As amostras foram comprimidas na fôrma para se obter uma colonização homogênea nas faces em contato com os moldes e fechadas com filme PVC (Figura 5).



Figura 5. Transferência dos substratos para as fôrmas, crescimento do micélio e material já crescido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi observado, a partir dos estudos realizados, que os pesquisadores adotaram diversos materiais agroindustriais em diferentes proporções, bem como metodologias variadas para produzir materiais destinados à construção e produtos de design, com diferentes parâmetros como morfologia fúngica, tipologia de matéria-prima, forma de beneficiamento da mesma e aplicabilidade do produto final. Além disso, essas metodologias estão bastante fragmentadas e não muito claras em detalhes.

Neste sentido, faz-se necessário um trabalho que compile, teste e valide essas metodologias a fim de buscar uma que seja padronizada com o objetivo de implementar esses materiais para aplicações em grande escala, cujo modelo de produção seja econômico, social e ecologicamente viável, bem como de código aberto.

Ainda há um campo vasto para as investigações na biologia quanto aos fatores que diferenciam o crescimento fúngico e novas cepas geneticamente modificados, no design e práticas arquitetônicas quanto à temporalidade esses materiais e regulamentos técnicos.

4. CONCLUSÃO

O emprego do micélio é uma alternativa viável para a obtenção de um material biocompósito inerte, não tóxico, seguro e ecologicamente correto. Nesse sentido, a utilização do micélio na produção de materiais destinados à arquitetura e design tem um grande potencial como nova tecnologia para nossa sociedade sob vários aspectos da sustentabilidade. Eles reduzem o uso cumulativo de combustíveis fósseis, eliminam a necessidade de extração química convencional e intensiva em energia, refinamento e síntese. Entre essas vantagens estão ainda a alta reprodutibilidade, baixa toxicidade e um ciclo de vida sustentável.

Atualmente, a produção de materiais à base de micélio está bastante segmentada no meio científico, sem uma visão geral padronizada, e sob domínio da propriedade intelectual industrial de algumas empresas globais. Portanto, definir uma metodologia de biofabricação, integrando biomimética ao design e à tecnologia computacional por meio de uma inovação aberta e distribuída, é essencial para a produção sustentável, promoção da comunicação e divulgação de informações entre a comunidade científica e de engenharia global, alcançando o desenvolvimento contínuo em vários níveis sociais e econômicos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmadi, H. (2016). Cellulose-Mycelia foam: novel bio-composite material (Doctoral dissertation). University of British Columbia.

Benyus, J. (n.d.). (2021). Life's principles. Biomimicry 3.8. Retrieved Available in <http://biomimicry.net/about/biomimicry/biomimicry-designlens/lifes-principles/>.

Chang, S. T., & Miles, P. G. (1989). Edible mushrooms and their cultivation. *Edible mushrooms and their cultivation.*

Da Luz, J. M. R., Paes, S. A., Nunes, M. D., da Silva, M. D. C. S., & Kasuya, M. C. M. (2013). Degradation of oxo-biodegradable plastic by Pleurotus ostreatus. *Plos one, 8*(8), e69386.

Da Silva, M. C., Naozuka, J., da Luz, J. M. R., de Assunção, L. S., Oliveira, P. V., Vanetti, M. C., ... & Kasuya, M. C. (2012). Enrichment of Pleurotus ostreatus mushrooms with selenium in coffee husks. Food chemistry, *131*(2), 558-563.

Da Silva, M. C., Naozuka, J., Oliveira, P. V., Vanetti, M. C., Bazzolli, D. M., Costa, N. M., & Kasuya, M. C. (2010). In vivo bioavailability of selenium in enriched Pleurotus ostreatus mushrooms. *Metallomics, 2*(2), 162-166.

Diez, T. (2017). Fab City Whitepaper. Locally Productive, globally connected self-sufficient cities.

Elliott, T. (1997). Mushrooms. SGM Quarterly, London, v. 24, n. 1, p. 9-10.

Elsacker, E., Vandelook, S., Brancart, J., Peeters, E., & De Laet, L. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS One, 14*(7), e0213954.

Fan, L. F., & Ding, C. K. (1990). Handbook of Mushroom Cultivation, Jiangxi Science and Technology Publishing House.

Fasidi, I. O. (1996). Studies on Volvariella esculenta (Mass) Singer: cultivation on agricultural wastes and proximate composition of stored mushrooms. Food Chemistry, 55(2), 161-163.

Gershenfeld, N. (2012). How to make almost anything: The digital fabrication revolution. Foreign Aff., 91, 43.

Ghazvinian, A. (2021). a sustainable alternative to architectural materials: Mycelium--based Bio-Composites. Georgia Institute of Technology.

Groll, J., Boland, T., Blunk, T., Burdick, J. A., Cho, D. W., Dalton, P. D., ... & Malda, J. (2016). Biofabrication: reappraising the definition of an evolving field. Biofabrication, 8(1), 013001.

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: fabrication and tuning of physical properties. Scientific reports, 7(1), 1-11.

Joshi, K., Meher, M. K., & Poluri, K. M. (2020). Fabrication and characterization of bioblocks from agricultural waste using fungal mycelium for renewable and sustainable applications. ACS Applied Bio Materials, 3(4), 1884-1892.

Kohtala, C. (2017). Making "Making" critical: How sustainability is constituted in fab lab ideology. The Design Journal, 20(3), 375-394.

Leudar, A. (2018). Surrounded: A Series of Sound Installations That Combine Plant

Electrophysiology and 3D Sonic Art. Leonardo, 51(5), 517-523.

MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. Journal of Industrial Ecology, 2, 23-44.

Madan, M., Vasudevan, P., & Sharma, S. (1987). Cultivation of Pleurotus sajor-caju on different wastes. Biological Wastes, 22(4), 241-250.

Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. construction and Building materials, 38, 872-878.

Moradali, M. F., Mostafavi, H., Ghods, S., & Hedjaroude, G. A. (2007). Immunomodulating and anticancer agents in the realm of macromycetes fungi (macrofungi). International immunopharmacology, 7(6), 701-724.

Nunes, M. D., da Silva, M. C., Schram, J. G., da Silva, J. S., Tamai, Y., & Kasuya, M. C. (2017). Pleurotus ostreatus, mushrooms production using quick and cheap methods and the challenges to the use of coffee husk as substrate. African Journal of Microbiology Research, 11(31), 1252-1258.

Pistofidou, A., Real, M., & Juarez Calvo, M. (2020). Remix El Barrio: A Co-Creation Journey to Foster Innovative Ecosystems Crafting and Micro-Fabricating with Food Surplus and Waste. Creative Food Cycles-Book 1, 185-195.

Ratto, M. (2011). Critical making: Conceptual and material studies in technology and social life. The information society, 27(4), 252-260.

Răut, I., Călin, M., Vuluga, Z., Oancea, F., Paceagiu, J., Radu, N., ... & Jecu, L. (2021). Fungal Based Biopolymer Composites for Construction Materials. Materials, 14(11), 2906.

Schmidt, P., Wechsler, F. S., Nascimento, J. S. D., & Vargas Junior, F. M. D. (2003). Tratamento do feno de braquiária pelo fungo Pleurotus ostreatus. Revista Brasileira de Zootecnia, 32, 1866-1871.

Stamets, P. (2006). Can mushrooms help save the world? Explore, 2(2), 152-161.

Troxler, P. (2019). Building open design as a commons. The Critical Makers Reader:(Un) learning Technology, 218.

Troxler, P. (2014). Making the third industrial revolution. In FabLab (pp. 181-196). transcript-Verlag.

Yang, X. M. (1986). Cultivation of Edible Mushroom in China, Beijing. Agriculture Printing House.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Cogu das Minas, uma empresa produtora de cogumelos, e financiado pelo Centro Universitário Newton Paiva, ambos em Belo Horizonte, Brasil.