

IMPLEMENTAÇÃO DE CÂMARA FECHADA E SISTEMA DE FILTRO DE AR PARA IMPRESSORA 3D CUBEXTRIO

Wesley Ferreira da Silva, wesley.ferreira@unifesspa.edu.br¹

Ronney Peterson Ribeiro Baltazar, ronney.peterson@unifesspa.edu.br²

Tanaco do Nascimento Lima, lima27.t@unifesspa.edu.br³

Wilson Rosa da Rocha, wilson.rocha@unifesspa.edu.br⁴

Liesel Eulalia Cerna Nahuis, liesel.cerna@unesp.br⁵

Pedro Christian Ayala Castillo, pedro.ayala@unifesspa.edu.br⁶

¹ Universidade Federal dos Sul e Sudeste do Pará, Folha 17, Quadra 04, Lote Especial, s/n.o - Nova Marabá, PA, 68505-080

² Departamento de Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista (UNESP) Ilha Solteira, SP, 15385-000

Resumo. Este artigo apresenta a implementação de uma câmara fechada e um sistema de filtração de ar em uma impressora 3D Cubextrio, com o objetivo de melhorar a segurança e a qualidade do ar durante a impressão de materiais como o ABS. A impressão 3D com ABS pode liberar compostos orgânicos voláteis (COVs) e partículas finas que representam riscos à saúde dos operadores e à qualidade ambiental. O uso de uma câmara fechada, aliado a um conjunto filtrador de ar composto por um filtro de carbono ativado e HEPA, visa mitigar esses efeitos ao criar um ambiente controlado que captura tanto as partículas como os gases nocivos. A metodologia envolveu a adaptação da impressora Cubextrio para incluir uma câmara fechada que isola o processo de impressão, e a instalação de um filtro de ar, contendo: carcaça, ventilador, filtro hepa e um filtro de carbono ativado. Os resultados mostram o modelamento da impressora com a melhora realizada deixando o sistema hermético com o desenho de uma porta imantada e o fechamento das partes laterais e superior, acoplando no lado direito o sistema de extração de gases. Este trabalho oferece uma solução viável para melhorar a segurança operacional em ambientes internos na qual a impressão 3D é realizada, promovendo saúde, segurança e sustentabilidade no uso de tecnologias de impressão 3D.

Palavras chave: Impressora 3D Cubextrio, Filtro de carbono ativado, Câmara fechada, Segurança na impressão 3D.

Abstract. This article presents the implementation of a closed chamber and an air filtration system in a Cubextrio 3D printer, with the aim of improving safety and air quality during the printing of materials such as ABS. 3D printing with ABS can release volatile organic compounds (VOCs) and fine particles that pose risks to the health of operators and to environmental quality. The use of a closed chamber, combined with an air filtration system consisting of an activated carbon and HEPA filter, aims to mitigate these effects by creating a controlled environment that captures both particles and harmful gases. The methodology involved adapting the Cubextrio printer to include a closed chamber that isolates the printing process, and installing an air filter, containing: housing, fan, HEPA filter and an activated carbon filter. The results show the modeling of the printer with the improvement made, leaving the system hermetic with the design of a magnetic door and the closing of the sides and top, coupling the gas extraction system on the right side. This work offers a viable solution to improve operational safety in indoor environments where 3D printing is performed, promoting health, safety and sustainability in the use of 3D printing technologies.

Keywords: Cubextrio 3D printer, activated carbon filter, closed chamber, safety in 3D printing.

1. INTRODUÇÃO

A impressão 3D tem revolucionado diversos campos, desde a manufatura até a medicina, permitindo a produção de objetos complexos a partir de modelos digitais. No entanto, a extrusão de ABS (acrilonitrila butadieno estireno) a temperaturas superiores a 220 °C libera partículas ultrafinas e COVs, que podem atravessar barreiras biológicas e provocar irritações ou efeitos neurotóxicos (NETO, 2020; BRASIL, 2021). Estudos indicam que a exposição a esses poluentes pode acarretar problemas respiratórios e aumentar o risco de doenças pulmonares. Visando reduzir esses impactos, este projeto propôs a implementação de uma câmara de contenção com sistema de filtragem de ar composto por filtro de carbono ativado, cooler e filtro HEPA, adaptado à impressora 3D CubeX Trio que por origem, não conta com esse sistema. Inicialmente, foi realizada uma avaliação estrutural da impressora, seguida por sessões de brainstorming e análise de

viabilidade das alternativas propostas. A solução escolhida baseou-se em critérios de funcionalidade, segurança e compatibilidade estrutural. Estudos em repositórios brasileiro, como os de Silva et al. (2022), demonstram eficácia superior a 90 % na contenção de partículas em câmaras de testes laboratoriais. Porém, faltam aplicações diretas em impressoras comerciais, o que justifica esta contribuição. Portanto, o projeto consiste na construção de uma câmara fechada em acrílico, com vedação em silicone e reforço estrutural em perfis metálicos.

A modelagem tridimensional possibilitou a elaboração precisa do gabinete, facilitando a incorporação de um filtro HEPA ao sistema de exaustão, além da integração de um alimentador múltiplo de filamentos, mantendo o isolamento do ambiente interno (THI HAI et al., 2022). O uso de filtros HEPA, amplamente reconhecidos por sua eficiência na retenção de partículas finas, tem sido apontado como uma alternativa mais eficaz que o carvão ativado em determinadas aplicações de impressão 3D.

Observa-se que a utilização de sistemas de filtragem adequados em impressoras 3D pode reduzir significativamente a exposição ocupacional a compostos orgânicos voláteis, melhorando a qualidade do ar em ambientes de manufatura aditiva (NETO, 2020, p. 23).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

A manufatura aditiva por deposição de material fundido (FDM) tem se consolidado como uma tecnologia acessível e versátil para a prototipagem e produção em pequena escala. Contudo, a literatura aponta que o processo FDM com ABS pode emitir de 10^8 a 10^{11} partículas por minuto, dependendo da temperatura e do fluxo de ar interno (PEREIRA et al., 2019). Além disso, compostos como estireno e tolueno podem superar $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em ambientes fechados sem ventilação adequada (ROCHA; SALDIVA, 2023).

2.1. Sistema de filtragem HEPA e carvão ativado

A combinação de filtros HEPA com filtros de carvão ativado representa uma solução altamente eficiente na purificação do ar em ambientes com impressão 3D. Os filtros HEPA são capazes de reter a maioria partículas, sendo amplamente utilizados em hospitais, laboratórios e sistemas de ventilação de alta segurança. Já os filtros de carvão ativado atuam na adsorção de compostos químicos presentes no ar, como o estireno, reduzindo significativamente os níveis de COVs. A implementação conjunta dessas tecnologias oferece uma barreira robusta contra a contaminação do ar, sendo especialmente importante em ambientes ocupacionais e educacionais onde a exposição contínua pode representar riscos à saúde (PREVENTION THROUGH DESIGN, 2021).

2.2. Termodinâmica aplicada a impressão 3D

O controle térmico dentro de uma câmara fechada é um fator determinante para a qualidade da impressão 3D. A termodinâmica, especialmente os conceitos de transferência de calor por condução, convecção e radiação, é fundamental para entender como o calor se distribui durante a operação da impressora. O bloco aquecedor utiliza um cartucho aquecedor tipo resistência elétrica para transferir calor ao filamento termoplástico (SILVA, 2021, p. 20), consequentemente, a presença de uma câmara envolvente reduz a dissipação de calor para o meio externo, mantendo a temperatura interna mais estável e uniforme. Essa estabilidade térmica favorece a adesão entre as camadas de material depositado, reduzindo falhas e deformações. Além disso, a menor variação térmica pode contribuir para diminuir a quantidade de gases voláteis liberados, uma vez que evita superaquecimentos, e permite uma maior facilidade na separação de particular ultrafinas que podem ser um problema aos operadores da impressora 3D.

Um ciclo de impressão de PLA na Bambu Lab X1C foi apresentado para demonstrar o monitoramento em tempo real do consumo elétrico, da temperatura interna da câmara, da temperatura da cama aquecida e da temperatura do bico conforme Fig.1. Na fase de pré-aquecimento, observou-se um pico de potência próximo a 1 000 W para atingir rapidamente os setpoints de cama e nozzle, antes de estabilizar na faixa de 0–400 W; o nozzle ascendeu de temperatura ambiente (25°C) a um overshoot próximo a 300°C , estabilizando-se em 210°C , enquanto a cama alcançou 55°C em aproximadamente 2 min e a câmara, ainda aberta, manteve-se em torno de $24\text{--}25^\circ\text{C}$ (U/JULIAN-EXPLICIT, 2023). No início da impressão, o consumo médio foi de 115 W, com flutuações entre 50 e 225 W decorrentes dos ciclos de PID do hot-end e da cama, ao passo que as temperaturas de cama e nozzle permaneceram em seus setpoints. Ao fechar o top glass, a temperatura interna da câmara saltou de $\sim 34^\circ\text{C}$ para $\sim 38^\circ\text{C}$ em poucos segundos e, em seguida, equilibrizou-se entre $36\text{--}38^\circ\text{C}$, evidenciando isolamento passivo eficiente (BAMBULAB, 2023). Durante o estado estacionário, nozzle e cama mantiveram-se em 210°C e 55°C , respectivamente, enquanto a câmara estabilizou-se perto de 37°C até o término da impressão; no resfriamento, todas as variáveis declinaram de forma concomitante.

Além disso, o uso de câmaras fechadas contribui diretamente para a redução dos gradientes térmicos ao longo da peça durante a impressão, o que é crucial na fabricação com materiais termoplásticos como o ABS. Variações bruscas de temperatura entre camadas sucessivas podem gerar tensões internas, resultando em empenamentos, delaminações ou trincas. Dessa forma, e implementação de uma câmara fechada permitirá a preservação da temperatura interna da máquina durante a impressão.



Figura 1 - Perfil de consumo de energia e variação térmica na Bambu Lab X1C durante impressão de PLA, Fonte: U/JULIAN-EXPLICIT

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente estudo tem como objetivo a implementação de uma câmara fechada e de um sistema de filtragem de ar em uma impressora 3D Cubextrio, com a finalidade de melhorar a segurança do ambiente de trabalho e reduzir as emissões de partículas finas e compostos orgânicos voláteis (COVs) gerados durante o processo de impressão. A metodologia foi dividida em três etapas principais: Desenho conceitual, Modelagem e Resultados, conforme Fig. 2. Cada uma dessas etapas foi detalhadamente descrita, a fim de garantir a compreensão dos processos envolvidos na implementação e validação do sistema proposto.



Figura 2 - Fluxograma da metodologia

3.1. Desenho conceitual

O Desenho Conceitual teve início com a avaliação preliminar da impressora CUBEXTRIO, na qual foram identificados pontos críticos de vazamento de partículas e gases durante a impressão, bem como as características estruturais que poderiam suportar a instalação de uma câmara de contenção Fig. 3. Em seguida, foi realizada uma sessão de brainstorming com a equipe, com o objetivo de gerar múltiplas propostas de design para a câmara — considerando diferentes geometrias, mecanismos de vedação e materiais potenciais. Cada proposta foi, então, submetida a uma análise de viabilidade técnica e econômica, na qual foram avaliados critérios como disponibilidade de insumos, facilidade de fabricação, custo e impacto ambiental. Por fim, utilizou-se uma matriz de decisão ponderada para selecionar a alternativa que melhor equilibrasse segurança, simplicidade de instalação e custo-benefício. Essa solução serviu de base para o detalhamento tridimensional na etapa subsequente. Na estrutura apresentada, será implementada, além da porta articulada, a instalação de sistemas de vedação nas áreas com aberturas que possam representar risco de vazamento de gases internos.

O material utilizado para o selamento das áreas críticas será acrílico, permitindo melhor visibilidade do interior da estrutura. O conjunto filtrador de ar será instalado na lateral da carcaça, possibilitando maior eficiência na remoção dos gases que serão eliminados. A disposição dos componentes também levou em conta a minimização de turbulências no fluxo de ar, visando melhorar o desempenho do sistema de extração, assim como, a facilitação em procedimentos de manutenção.



Figura 3 – Carcaça atual

3.2. Modelagem do sistema

Para a modelagem tridimensional da estrutura do filtro, utilizou-se o software Fusion 360, conforme ilustrado na Fig. 4. Previamente à modelagem, foi realizado um estudo dimensional que se mostrou eficaz para o estabelecimento de medidas precisas e adequadas à impressão da estrutura. Destaca-se, ainda, a importância da escolha apropriada dos materiais que compõem a estrutura, uma vez que é necessário considerar a troca de calor promovida pelo cooler entre o ambiente interno e externo, influenciada diretamente pela diferença de temperatura. Durante a montagem do conjunto filtrador de ar (a), a ventoinha será fixada à estrutura interna do filtro (b), utilizando parafusos adequados. Em seguida, os filtros HEPA e de carvão ativado deverão ser inseridos na ordem correta, assegurando que estejam bem posicionados. A tampa frontal será encaixada para manter os filtros firmes e direcionar o fluxo de ar de maneira adequada, conforme Fig.4(b).

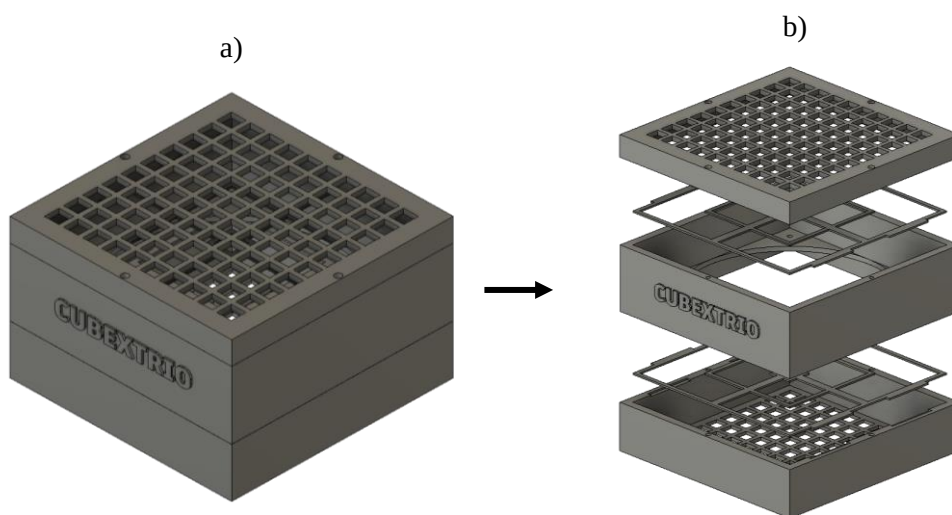


Figura 4 – Peças do filtro desenhadas no programa FUSION (a) Filtro em montagem (b) Montagem em explosão

O processo de fabricação do filtro HEPA será realizado por meio de impressão 3D utilizando filamento de PLA, com a impressora ZMORPH VX. Cada peça será impressa com 20% de preenchimento, sem a necessidade de estruturas de suporte ou de recursos adicionais de aderência à mesa. O fatiamento das peças foi realizado no software Ultimaker Cura, conforme ilustrado na Fig. 5. Após a impressão de todos os componentes, a etapa final consiste na união das partes,

formando um único corpo que constitui o filtro de carbono ativado e HEPA. A fixação do filtro à impressora será realizada por meio de parafusos, acompanhada da aplicação de materiais de vedação nos cantos da estrutura. Essa vedação é essencial para evitar a fuga de gases internos, o que comprometeria a eficiência do sistema de contenção e filtragem durante o processo de impressão com materiais como o ABS.

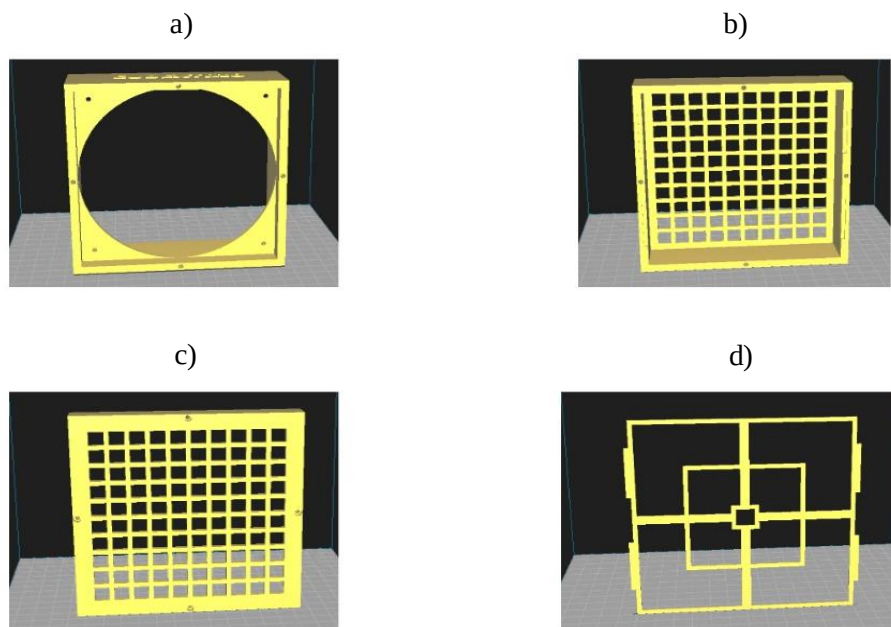


Figura 5 – Modelado da estrutura do filtro no software fatiador (a) Compartimento de inserção do cooler (b) Tampa frontal (c) e (d) fixadores do Filtro de carbono ativado.

O tempo total estimado para a impressão de todas as peças do sistema filtrante foi de aproximadamente 21 horas e 8 minutos, considerando os quatro componentes principais: (a) compartimento de inserção do cooler, (b) tampa frontal do filtro HEPA, (c) tampa traseira para fixação do filtro de carbono ativado e (d) fixador do filtro de carbono ativado. A peça (a) apresentou o maior tempo de fabricação, com 7 horas e 25 minutos e consumo de 72 g de PLA, seguida da peça (b), com 7 horas e 21 minutos e 64 g de material. A peça (c) exigiu 5 horas e 55 minutos, consumindo 46 g, e a peça (d), por ser menor, foi finalizada em 27 minutos, utilizando 4,3 g de PLA. A preparação para a impressão será feito utilizando filamentos termicamente estáveis como PLA, principalmente em ambientes sujeitos a variações de temperatura. Para o fatiamento dos arquivos 3D, será aplicado uma altura de camada de 0,2 mm, o que proporciona um bom equilíbrio entre detalhamento e tempo de impressão. Um preenchimento (infill) entre 20% e 30% é suficiente para garantir a resistência mecânica necessária sem comprometer a leveza das peças. O consumo total de material foi de aproximadamente 185,2 g de filamento PLA, o que corresponde 26,7 metros de filamento, com base nas estimativas geradas pelo software de fatiamento Ultimaker Cura. Essas informações demonstram a viabilidade da fabricação do sistema filtrante em ambiente de laboratório, com uso otimizado de material e tempo compatível com a rotina de prototipagem, conforme demonstra tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros de impressão das peças do conjunto filtrador de ar

Peça	Tempo de Impressão	Peso (g)	Comprimento (m)	Densidade de Preenchimento	Observações
a)	7h 25min	72 g	9,07 m	20%	Compartimento do cooler
b)	7h 21min	64 g	8,03 m	20%	Tampa frontal
c)	5h 55min	46 g	5,76 m	20%	Tampa traseira
d)	27 min	4,3 g	0,55 m	20%	Fixador do filtro de carbono ativado e HEPA

3.3. Resultados

No desenvolvimento da melhoria, a solução conceitual escolhida passou por modelagem 3D no software Fusion 360, permitindo simular sua integração à CubeX Trio. Nessa fase, foi definido encaixes (c), dimensões da câmara, pontos de fixação e rotas de fluxo de ar. Com a modelagem elaborada permitiu a decisão do posicionamento dos elementos na estrutura assim como, à escolha de materiais: optou-se por painéis de acrílico transparente, pela combinação de resistência térmica e boa visibilidade, além da semelhança morfológica em relação a carcaça da impressora, conforme ilustra a Fig. 6.

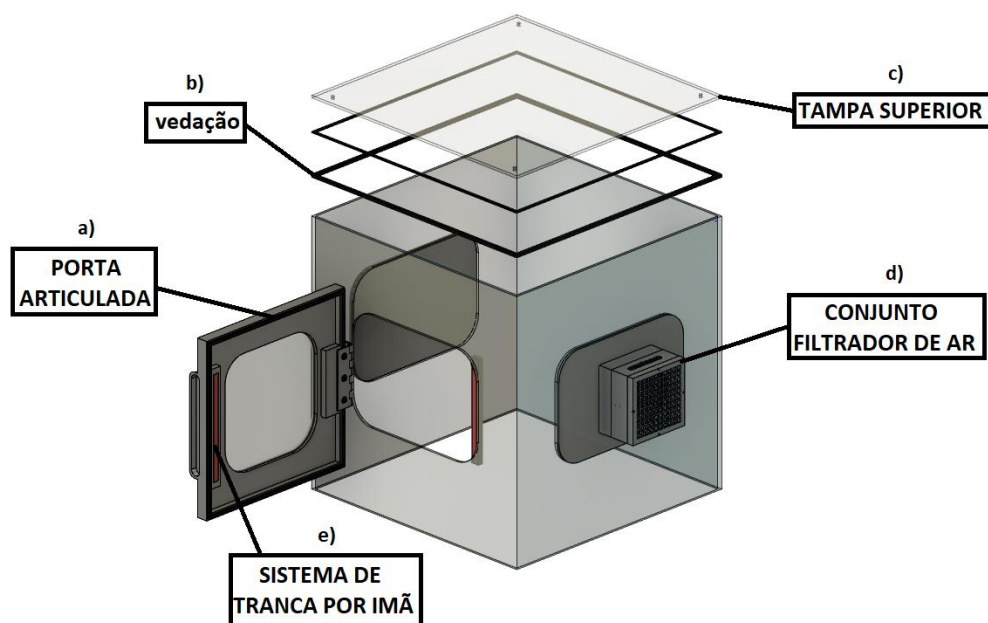


Figura 6 – Carcaça em montagem

Foi implementado o sistema de fechamento e seleção de filtro: a câmara foi modelada com uma porta articulada (a) para acesso a parte interna da impressora, permitindo a realização de manutenção preventiva e ajustes necessários durante a impressão, ou a substituição de componentes internos. A porta possui um sistema de fechamento por imã (e), que fixará firmemente a porta a carcaça da impressora, assim como vedações de silicone (b), acoplado um conjunto filtrador de ar (d), dimensionado para o volume de ar da impressora, garantindo retenção eficiente de partículas ultrafinas sem comprometer a ventilação. A estrutura final do conjunto filtrador de ar Fig. 4(a), com todas as peças unidas, será composta pelo filtro de carbono ativado, cooler e HEPA que filtrará o ar succionado para fora da impressora. Tal característica requer uma estrutura robusta, capaz de resistir a variação de temperatura, queda ou ressecamento.

Cada peça foi modelada com foco na eficiência da circulação do ar e na facilidade de montagem, conforme Fig. 6. Após a montagem, o conjunto será instalado diretamente no gabinete da impressora 3D, promovendo a filtragem eficiente do ar antes que este seja liberado no ambiente. O encaixe das peças foram projetados com tolerâncias dimensionais otimizadas para impressão, assegurando precisão na união dos elementos e evitando folgas indesejadas. A fixação do filtro na carcaça da impressora está estrategicamente definido com o objetivo de obter a maior eficiência possível durante o processo, desse modo, garantindo a contenção dos gases internos e a segurança dos operadores ao redor da impressora. Ressaltando que o filtro não possui influencia direta com a qualidade de impressão AB.

Com a implementação do sistema de contenção e filtragem, espera-se uma redução significativa na emissão de partículas ultrafinas e compostos orgânicos voláteis (COVs) durante a operação da impressora 3D CubeX Trio. A câmara fechada deverá manter a temperatura interna estável, proporcionando um ambiente ideal para a impressão com ABS, evitando deformações nas peças e melhorando a adesão entre camadas. O filtro HEPA, aliado ao carvão ativado, deverá apresentar eficiência máxima na retenção de partículas e gases, conforme projetado, resultando em uma melhora perceptível na qualidade do ar ao redor do equipamento. A comparação entre os cenários com e sem o sistema de contenção deverá evidenciar uma redução significativa nas partículas em suspensão e na concentração de COVs, com base nas estimativas da literatura e nos testes previstos.

Além da melhoria ambiental, espera-se que o desempenho de impressão não seja comprometido. A estrutura modular da câmara e o sistema de vedação em silicone deverão garantir vedação eficiente, ao mesmo tempo em que proporcionam

facilidade de acesso para manutenção. A visibilidade oferecida pelos painéis de acrílico também contribuirá para o monitoramento visual da impressão em tempo real.

Por fim, o projeto apresenta potencial para futuras aprimorações, como a integração de sensores de qualidade do ar, controle automatizado do fluxo dos gases internos e sistemas de monitoramento remoto. Essas melhorias permitirão o acompanhamento em tempo real das condições internas da câmara durante a impressão, elevando o nível de segurança operacional. Em situações de queda na eficiência da filtragem como escape indevido de gases ou saturação dos filtros os sensores poderiam emitir alertas automáticos, indicando a necessidade de manutenção ou substituição de componentes. Essa funcionalidade proporcionará maior confiabilidade ao sistema e reforçaria a proteção dos operadores contra a exposição a partículas e compostos orgânicos voláteis.

4. CONCLUSÕES

A implementação da câmara fechada e do sistema de filtragem composto por filtro HEPA e carvão ativado na impressora 3D CubeX Trio se apresenta como uma solução viável e eficiente para mitigar os riscos associados à emissão de partículas ultrafinas e compostos orgânicos voláteis durante a impressão com filamentos como o ABS. A modelagem estrutural desenvolvida possibilitou a fixação adequada dos elementos à carcaça da impressora, como o conjunto filtrador de ar, responsável pela troca e filtração das partículas voláteis durante a impressão, e a câmara fechada, que atua na contenção dos gases tóxicos liberados pelo material ABS. Além disso, a etapa de modelagem permitiu progresso para a etapa de fabricação das peças, utilizando a impressão 3D para fabrica-los, será possível obter as estruturas propostas e modeladas neste projeto. Além dos benefícios à saúde ocupacional e ao controle ambiental, o projeto se destaca pela possibilidade de expansão futura, com a integração de sensores de qualidade do ar, controle automatizado do fluxo de exaustão e sistemas de monitoramento remoto. Esses aprimoramentos permitirão maior precisão no acompanhamento das condições internas da câmara e na eficiência do sistema de filtragem, contribuindo para a detecção precoce de falhas e a substituição oportuna dos elementos filtrantes. Dessa forma, a proposta apresentada não apenas atende às demandas atuais de segurança e sustentabilidade na impressão 3D, como também abre caminho para soluções mais sofisticadas e integradas no uso de tecnologias aditivas em ambientes internos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará pelo suporte técnico para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Brasil, 2021. “Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil”. Estudos Avançados, v. 35, n. 102, p. 7–30.
- Neto, H.P., 2020. “Iniciativas sustentáveis em relação ao uso da impressão 3D”. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Pereira, L.D.; Sousa, M.R.; Almeida, C.F., 2019. “Emissões de partículas ultrafinas em impressoras 3D: uma revisão” Revista de Tecnologia e Ambiente, v. 10, n. 1, p. 12–25, 2019.
- Rocha, M. C.; Saldiva, P. H. N., 1999. “Qualidade do ar de interiores e a química”. Química Nova, v. 22, n. 1, p. 65–72, fev. 1999 .
- Silva, F., 2021. “Desenvolvimento de sistemas de aquecimento para impressoras 3D FDM”. 123 f.
- Silva, R.A.; Carvalho, J.P.; Lima, F.S., 2022. “Avaliação de câmaras de contenção em impressão”.
- Thi Hai, V.N.; Phu, S.N.; Essomba, T.; Lai, J.-Y., 2022. “Development of a multicolor 3D printer using a novel filament shifting mechanism”. Inventions, v. 7, n. 2, p. 34.
- U/Julian-Explicit, 2023. “I did some temperature and wattage monitoring during a print”. Reddit, 11 jun. 2023. Disponível em: <https://www.reddit.com/r/BambuLab/comments/146dpaz/i_did_some_temperature_and_wattage_monitoring/>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Prevention Through Design, 2021. “Insights from computational fluid dynamics on 3D printing exposure scenarios”. PubMed Central. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMCxxxxxxx>>. Acesso em: 18 jun. 2025.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.