

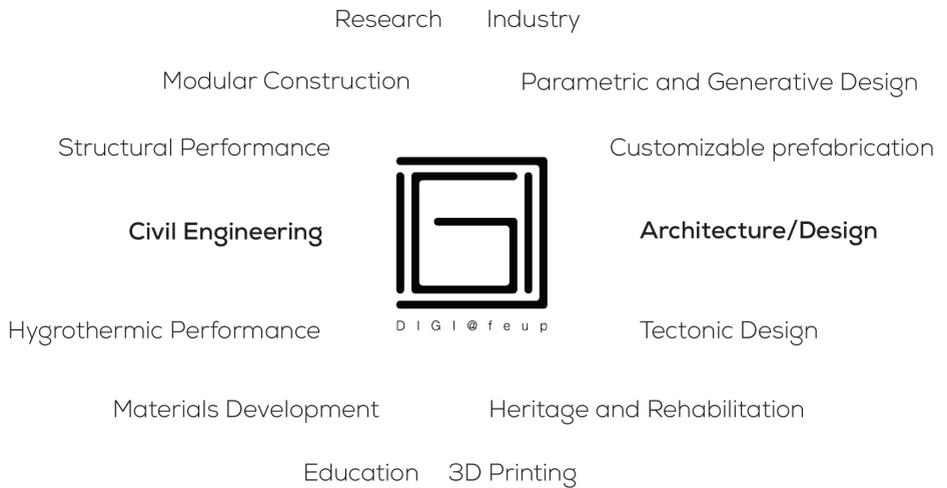
IMPRESSÃO 3D COM RESÍDUOS

**3D PRINTING WITH
WASTE MATERIALS**



O DIGI@feup é um grupo de investigação multidisciplinar que nasce no Departamento de Engenharia Civil da FEUP com o objetivo de explorar a forma como se pode transformar o paradigma da Construção, sobretudo com a ajuda da Impressão 3D em grande escala e a Construção Modular. Reunindo um conjunto de áreas científicas associadas a estas temáticas não só dentro da Engenharia Civil (como as Estruturas, os Materiais, a Física das Construções e a Sísmica), como da Engenharia Mecânica, da Engenharia de Minas e Materiais e também da Arquitetura e do Design Industrial, pretende-se, neste grupo, estudar de uma forma integrada, a forma como os processos de industrialização e digitalização podem impulsionar o sector da Construção.

No âmbito da impressão 3D, testam-se diferentes formulações de argamassas, avaliando-se o seu comportamento no estado fresco e endurecido; estuda-se o elemento construtivo construído *off-site* e o desempenho do edifício impresso *in situ* nas várias vertentes e as potencialidades formais que esta tecnologia pode oferecer ao desenvolvimento do projeto de Arquitetura. No campo da Construção Modular, procura-se nos processos industriais, formas de otimização do processo construtivo trazendo para a fábrica a produção da maioria dos elementos construtivos e estuda-se a potencialidade da impressão 3D para a customização de produtos pré-fabricados. Para ambas as vertentes, definem-se os parâmetros de desempenho do edifício construído para sustentar o desenvolvimento do projeto integrado entre a Arquitetura e a Engenharia.



DIGI@feup is a multidisciplinary research group that originated in the Department of Civil Engineering at FEUP, with the goal of exploring how to transform the Construction paradigm, particularly with the help of large-scale 3D printing and Modular Construction. Bringing together a range of scientific fields related to these topics, not only within Civil Engineering (such as Structures, Materials, Building Physics, and Seismic Engineering) but also from Mechanical Engineering, Mining and Materials Engineering, as well as Architecture and Industrial Design, this group aims to study in an integrated way how industrialization and digitalization processes can drive the Construction sector forward.

In the field of 3D printing, different mortar formulations are tested, evaluating their behaviour in both fresh and hardened states; the off-site construction element is studied, along with the performance of the building printed *in situ* in various aspects, as well as the formal potential this technology can offer for the development of architectural projects. In the area of Modular Construction, industrial processes are explored to find ways to optimize the construction process by bringing the production of most construction elements into the factory, and the potential of 3D printing for the customization of prefabricated products is studied. For both areas, the performance parameters of the constructed building are defined to support the development of an integrated project between Architecture and Engineering.



No DIGI@FEUP, têm sido investigados diversos materiais alternativos para Impressão 3D (I3D). No caso dos materiais à base de cimento Portland, a incorporação de pós provenientes de resíduos industriais tem sido estudada com o objetivo de reduzir a quantidade deste componente nas argamassas para I3D. Para além do foco na sustentabilidade, essa substituição é avaliada com base nas propriedades plásticas de cada pó nas argamassas. Paralelamente aos materiais cimentícios, também tem sido estudados materiais à base de terra para aplicação em I3D. Nesse contexto, a incorporação de resíduos em composições de terra é analisada, maioritariamente, com o intuito de melhorar o desempenho das argamassas para I3D, dado que o seu impacto ambiental já é reduzido. Assim, o objetivo da investigação é criar uma biblioteca de materiais com diferentes propriedades plásticas, contribuindo para a sustentabilidade da tecnologia de I3D no setor da construção. A valorização da tecnologia a partir dos materiais pode impulsionar a sua adoção e motivar a reflexão sobre como ela pode transformar a tectónica dos edifícios.

Several alternative materials for 3D Printing (3DP) are being investigated at DIGI@FEUP. In the case of Portland cement-based materials, the incorporation of powders from industrial waste has been studied to reduce the amount of this component in 3D printing mortars. In addition to focusing on sustainability, this substitution is evaluated based on the aesthetic properties of each powder in the mortars. Alongside cementitious materials, earth-based materials have also been studied for application in 3DP. In this context, the incorporation of waste into earth compositions is mostly analyzed to improve the performance of 3DP mortars, given that their environmental impact is already low. Therefore, the research aims to create a palette of materials with different plastic properties, contributing to the sustainability of 3DP technology in the construction sector. The valorization of the technology from the materials can drive its adoption and motivate reflection on how it can transform the buildings tectonics.



UM CONTRIBUTO DO DESIGN PARA A QUESTÃO DOS DESPERDÍCIOS GERADOS PELO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL: REINTERPRETAÇÃO DA TÉCNICA TRADICIONAL DO TERRAZZO EM OBJETOS DE DECORAÇÃO

MAYRA DEBERG

A construção é um dos sectores mais poluentes a nível mundial. Para além de ser responsável por consideráveis impactos ambientais, sociais e económicos, este sector gera impactos em todas as fases do seu processo de produção. Os resíduos gerados por esta indústria (resíduos de construção e demolição - RCD) representam cerca de um terço de todos os resíduos produzidos no mundo. A produção de grandes quantidades deste material residual é um dos principais obstáculos enfrentados nas zonas urbanas. Diante dessa problemática, uma possível alternativa para minimizar as consequências geradas por esse setor é enquadrá-lo na economia circular (EC), um modelo de desenvolvimento focado na manutenção e economia de recursos, e cujo viés é a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia.

O presente estudo consiste em investigar estratégias que contribuam para a redução do impacto gerado pelos resíduos da construção civil, através da reutilização e/ou reciclagem destes resíduos para aplicações no campo do design. Para tal, a investigação centrou-se no fluxo local de RCD na Área Metropolitana do Porto, em Portugal, recolhendo os desperdícios em fontes locais e associando-os a resíduos gerados pela indústria da pedra natural (pré e pós-consumo). Através de um processo upcycling, que consistiu em processar os resíduos em diferentes fases, o projeto deu origem a novos materiais baseados na reinterpretação da técnica tradicional do terrazzo e propostas de aplicação em objetos decorativos.

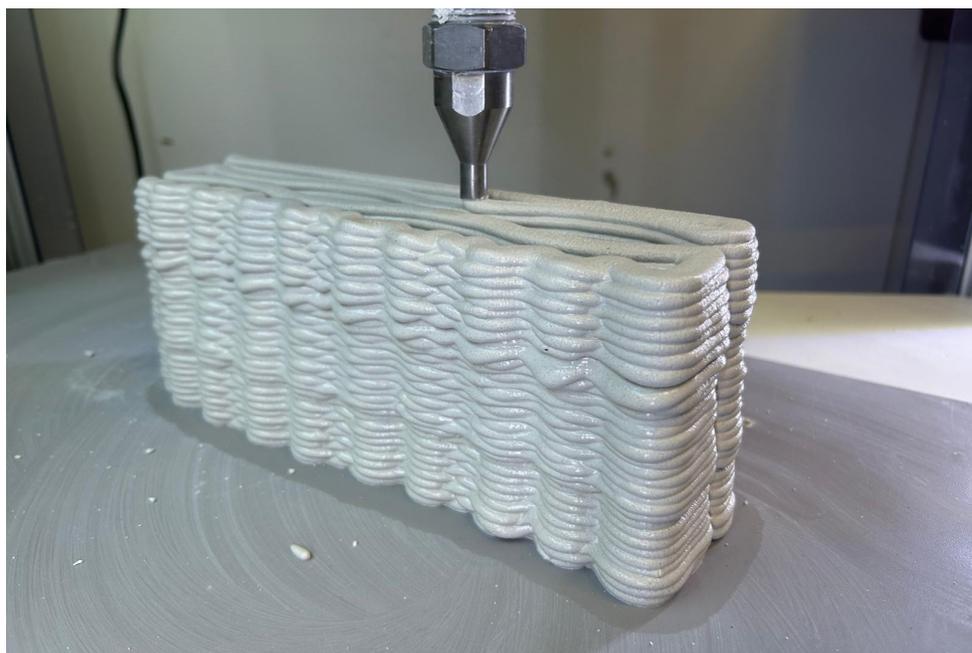
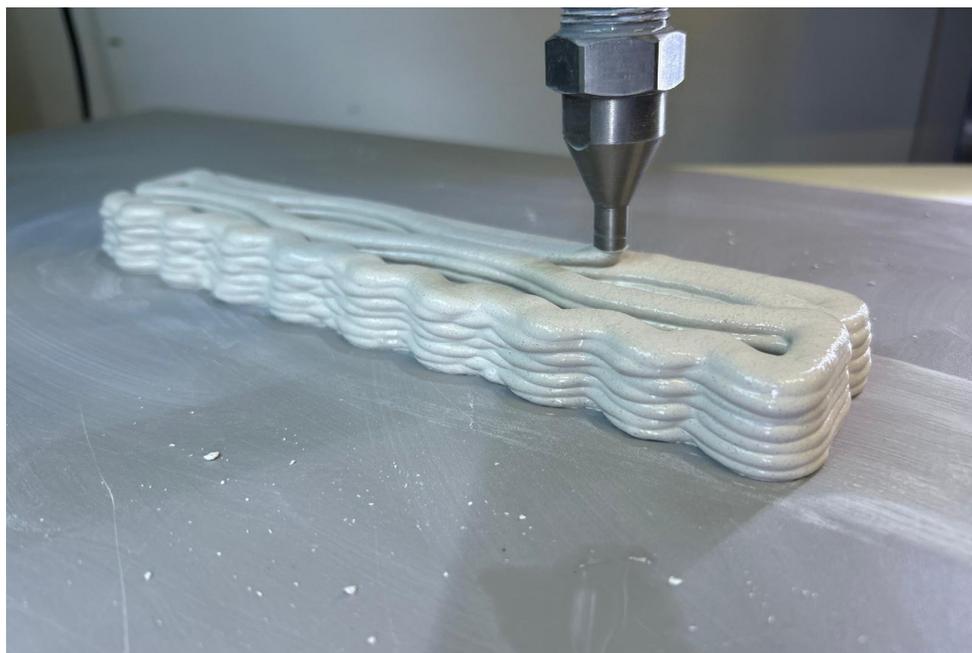


A DESIGN CONTRIBUTION TO THE ISSUE OF WASTE GENERATED BY THE CONSTRUCTION SECTOR: REINTERPRETING THE TRADITIONAL TERRAZZO TECHNIQUE IN DECORATIVE OBJECTS

MAYRA DEBERG

Construction is one of the most polluting sectors worldwide. As well as being responsible for considerable environmental, social and economic impacts, this sector generates impacts at every stage of its production process. The waste generated by this industry (construction and demolition waste - CDW) accounts for around a third of all the waste produced in the world. The production of large quantities of this waste material is one of the main obstacles facing urban areas. Faced with this problem, a possible alternative to minimize the consequences generated by this sector is to fit it into the circular economy (CE), a development model focused on maintaining and saving resources, and whose bias is the reduction, reuse, recovery and recycling of materials and energy.

This study aims to investigate strategies to help reduce the impact of construction waste by reusing and/or recycling it for design applications. To this end, the research focused on the local flow of CDW in the Porto Metropolitan Area in Portugal, collecting waste from local sources and associating it with waste generated by the natural stone industry (pre-consumption and post-consumption). Through an upcycling process, which consisted of processing the waste in different phases, the project gave rise to new materials based on the reinterpretation of the traditional terrazzo technique and proposals for application in decorative objects.



BIBLIOTECA DE MATERIAIS DE I3DB PARA EXPLORAÇÃO TECTÓNICA

JOÃO TEIXEIRA

A Impressão 3D de Betão (I3DB) surgiu como uma das tecnologias digitais mais promissoras e desafiantes no sector da construção. A sua capacidade de aplicar estrategicamente o material apenas onde é necessário permite-lhe produzir componentes mais leves, contribuindo para uma melhor ventilação, desempenho higrotérmico e propriedades acústicas, entre outros benefícios. Um tema fundamental para a inovação é a exploração de materiais alternativos para substituir parcialmente o cimento Portland, o que pode abrir caminho para uma biblioteca de materiais de impressão 3D mais sustentável e esteticamente diversificada.

Esta abordagem poderia desbloquear, por exemplo, o potencial da tecnologia na pré-fabricação de painéis de betão, permitindo a criação de geometrias complexas, maior personalização, tempos de construção mais rápidos, redução do desperdício de material e eficiência de custos. Para além disso, a flexibilidade de imprimir tanto no local como fora do local oferece vantagens adicionais. Em conjunto, estes fatores posicionam a tecnologia no caminho para revolucionar a produção de elementos de betão, testando os limites da tectónica. Assim, o tópico de investigação desta tese centra-se no desenvolvimento de uma biblioteca de materiais para explorar o potencial estético da tecnologia de I3DB. O objetivo é identificar e avaliar materiais alternativos que possam substituir parcialmente o cimento Portland, contribuindo para uma utilização mais sustentável e esteticamente diversificada por meio da tecnologia de I3DB. A criação desta biblioteca alargará as possibilidades de experimentação formal e tectónica da tecnologia.



3DCP LIBRARY FOR TECTONIC DESIGN

JOÃO TEIXEIRA

3DCP (3D Concrete Printing) has emerged as one of the most promising yet challenging digital technologies in the construction industry. Its ability to strategically apply material only where needed allows it to produce lighter components, contributing to better ventilation, hygro-thermal performance, and acoustic properties, among other benefits. A key avenue for innovation is exploring alternative materials to partially replace Portland cement, paving the way for a more sustainable and aesthetically diverse palette of 3D printing materials.

This approach could unlock, for example, the potential of 3DCP in prefabricating concrete panels, enabling the creation of complex geometries, greater customization, faster construction times, reduced material waste, and cost efficiency. Moreover, the flexibility of printing both on-site and off-site offers additional advantages. Together, these factors position 3DCP to revolutionize the production of concrete elements while pushing the boundaries of tectonic design. Therefore, the research topic of this thesis focuses on developing a materials library to explore the aesthetical potential of 3DCP technology. The goal is to identify and evaluate alternative materials that can partially replace Portland cement, contributing to a more sustainable and aesthetically diverse use of 3DCP. The creation of this library will expand the technology's possibilities for formal and tectonic experimentation.



IMPRESSÃO 3D COM PÓ DE MÁRMORE: DESIGN COMO VEÍCULO PARA A VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS

ELIS RIBEIRO

O setor marmoreiro a cada ano está a aumentar a extração do mármore levando a um aumento crescente da produção, das exportações e das importações desse material tão sofisticado. Conseqüentemente, os resíduos produzidos crescem proporcionalmente, provocando problemas ambientais. A partir dessa perspectiva, o trabalho propõe o desenvolvimento de um material cimentício com a utilização do pó de mármore em vista a proporcionar uma valorização do mesmo a partir do design, utilizando como técnica de construção a impressão 3D.

A partir de um plano experimental em que se utilizou proporções diferentes entre areia, cimento e pó de mármore, e pôr fim a impressão 3D com a composição selecionada. Observou-se que é possível utilizar o pó de mármore junto a materiais cimentícios para o desenvolvimento de uma argamassa para impressão 3D, assim valorizando esse material, neste caso, a partir da criação de elementos para fachadas.



3D PRINTING WITH MARBLE DUST: DESIGN AS A VEHICLE FOR WASTE VALORISATION

ELIS RIBEIRO

The marble industry is increasing the extraction of marble every year, leading to a growing increase in production, exports and imports of this sophisticated material. Consequently, the waste produced grows proportionally, causing environmental problems. From this perspective, this work proposes the development of a cementitious material using marble dust in order to valorise it through design, using 3D printing as a construction technique.

It was based on an experimental plan using different proportions of sand, cement and marble dust, and finally 3D printing with the selected composition. It was observed that it is possible to use marble dust together with cementitious materials to develop a mortar for 3D printing, thus valorising this material, in this case, by creating elements for façades.



DIGI@feup
3D printing for construction



www.digifeup3dc.com

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

ERASMUS MUNDUS JOINT MSc IN SUSTAINABLE DESIGN,
CONSTRUCTION AND MANAGEMENT OF THE BUILT ENVIRONMENT

MBUILD

www.mbuild.eu

Mestrado em
Projeto Integrado
na Construção
de Edifícios



 **CONSTRUCT**

fct
Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

 **REPÚBLICA
PORTUGUESA**

EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E INOVAÇÃO