

**IMPRESSÃO 3D EM ARQUITETURA: PARA UMA CON-
CEPÇÃO FUTURA E CRIATIVA NA TUNÍSIA**

*3D printing in architecture: for a creative and
sustainable future conception in Tunisia*

**L'impression 3D en architecture : pour une
future conception créative et durable en Tunisie**

Malek NOURI¹

¹ Malek NOURI est architecte intérieur, docteur en Sciences et Technologies du Design spécialité design espace de l'Ecole Supérieure Des Sciences et Technologies du Design de Tunis (ESSTED), nouri.malek.mn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1938-3913>

RESUMO

A arquitetura é profundamente influenciada pelas novas tecnologias, testando constantemente inovações e tendências em busca de ancoragem e desempenho ambiental. Esses avanços tecnológicos deslumbrantes estão abrindo caminho para novas formas de criatividade no design de interiores. A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, abre caminho para um design espacial mais inteligente e eficiente. A tecnologia de impressão 3D já foi bem-sucedida no mundo, a falta de conhecimento e conscientização sobre a tecnologia no setor da construção, métodos de caracterização de materiais e questões de fabricação representam um problema real para arquitetos e designers de interiores na Tunísia. As questões que se colocam dizem respeito à possibilidade de utilização da tecnologia no design dos espaços interiores, ao lugar que a inovação ocupa hoje na criação dos nossos espaços e como pensar a intersecção entre o design e a impressão 3D no design dos nossos espaços de convivência? O objetivo deste trabalho é identificar os desafios do design arquitetônico criativo e sustentável na Tunísia através da impressão 3D usando uma abordagem empírica baseada em estudo de caso e análise de projetos concretos. A educação em impressão 3D nos permitirá reexaminar essa tecnologia inovadora, que poderia fornecer soluções para os desafios ambientais e sociais relacionados à construção. Esta mudança de paradigma irá revolucionar a forma como concebemos o espaço físico, a arquitetura e a construção num país onde a arquitetura foi influenciada por várias civilizações.

Palavras-chave: Impressão 3D; Arquitetura; Design criativo; Sustentabilidade; Tunísia.

Abstract

Architecture is deeply influenced by new technologies, constantly being tested by innovations and trends seeking to anchor and perform environmentally. These lightning-fast technological advances are paving the way for new forms of creativity in interior design. 3D printing, also known as additive manufacturing, is opening the door to smarter, more efficient spatial design. 3D printing technology has already seen success around the world, but the lack of knowledge and awareness of the technology in the construction sector, material characterization methods, and manufacturing questions pose a real problem for architects and interior designers in Tunisia. The questions that arise are the possibility of using the technology in the design of interior spaces, the role that innovation plays today in creating our spaces, and how to think about the intersection between design and 3D printing in the design of our living spaces? The aim of this work is to identify the challenges of creative and sustainable architectural conception in Tunisia through 3D printing, using an empirical

approach based on case studies and the analysis of concrete projects. Education on 3D printing will allow us to re-examine this innovative technology, which could bring solutions to the environmental and social challenges related to construction. This paradigm shift will revolutionize our way of designing physical space, architecture, and building in a country where architecture has been influenced by multiple civilizations.

Keywords: *3D printing; Architecture; Creative conception; Sustainability; Tunisia.*

Résumé

L'architecture est profondément influencée par les nouvelles technologies, constamment mise à l'épreuve des innovations et des tendances en quête d'ancrage et de performance environnementale. Ces avancées technologiques fulgurantes ouvrent la voie à de nouvelles formes de créativité en design d'intérieur. L'impression 3D également connue sous le nom de fabrication additive ouvre la voie à une conception spatiale plus intelligente et plus efficace. La technologie d'impression 3D a déjà connu un succès dans le monde, le manque de connaissance et de sensibilisation à la technologie dans le secteur de la construction, les méthodes de caractérisation des matériaux et les questions de fabrication posent un réel problème aux architectes et aux designers d'intérieur en Tunisie. Les interrogations qui s'imposent concernent la possibilité d'utiliser la technologie dans la conception des espaces intérieurs, la place qu'occupe aujourd'hui l'innovation dans la création de nos espaces et comment penser l'intersection entre design et impression 3D dans la conception de nos espaces de vie ? L'objectif de ce travail est d'identifier les enjeux de la conception architecturale créative et durable en Tunisie à travers l'impression 3D en recourant à une approche empirique fondée sur l'étude de cas et l'analyse de projets concrets. L'éducation en matière d'impression 3D nous permettra de réexaminer cette technologie innovante, qui pourrait apporter des solutions aux défis environnementaux et sociaux liés à la construction. Ce changement de paradigme va révolutionner notre façon de concevoir l'espace physique, l'architecture et le bâtiment dans un pays où l'architecture a été influencée par plusieurs civilisations.

Mots-clés: Impression 3D ; Architecture ; Conception créative ; Durabilité ; Tunisie.

1 INTRODUÇÃO

O mundo de hoje está a passar por mudanças sem precedentes, a revolução digital perturbou os sistemas econômicos, ecológicos e sociais em vários países. A sociedade em que vivemos atualmente é muito focada em tecnologias emergentes. Elas tocam vários campos como medicina, ensino, cultura, artes, engenharia, artesanato e especialmente arquitetura. As tecnologias digitais têm perturbado o design e a fabricação de objetos, transformando a prática de arquitetos, designers, artistas (BIER, 2017). No entanto, a evolução da tecnologia nas áreas de arquitetura e design está levando cientistas e pesquisadores a colocar mais ênfase na impressão 3D. Este último é frequentemente chamado de “Manufatura Aditiva” (Additive Manufacturing (AM)). A impressão 3D é um processo automatizado de manufatura aditiva, no qual uma impressora 3D cria um modelo físico a partir de dados digitais (um objeto 3D) (OUHSTI et al., 2018). Anteriormente chamado de estereolitografia, esse processo foi desenvolvido há cerca de trinta anos, mas recentemente se tornou difundido por sua aplicação em grandes dimensões e uma variedade de materiais. A influência da impressão 3D nas dinâmicas sociais e ambientais nos permite considerar o design, a colaboração e o compartilhamento de conhecimentos e habilidades sob uma nova perspectiva. Ela permite que a indústria da construção crie rapidamente modelos e protótipos, permitindo que eles testem e aperfeiçoem novos produtos mais rapidamente. Também aborda questões de velocidade, custos de mão de obra, precisão e eficiência. De fato, oferece muitos benefícios, como aumento da produtividade e redução do erro humano. Além disso, sua natureza automatizada, digitalizada e renovável repercute em diversas áreas como regulação, cultura, meio ambiente, economia e sociedade (NEBRIDA, 2022). Os avanços tecnológicos na impressão 3D permitem que designers e arquitetos criem diretamente modelos arquitetônicos altamente precisos a partir de esquemas digitais. As promessas desta tecnologia são numerosas para o campo da arquitetura: novas formas, flexibilidade e precisão da realização, rapidez de execução, economia de material e desperdício, redução de custos, redução de incômodos, da arduidade do trabalho e de riscos na obra. O desenvolvimento tecnológico envolve preocupações interdisciplinares em atividades de investimento no aprofundamento de nichos conhecidos e na exploração de novos nichos de aplicação (ANDRÉ, 2018). Aplicações de manufatura aditiva no setor de arquitetura e design oferecem novas perspectivas criativas. Seu uso na arquitetura progrediu da modelagem em escala para um produto acabado em tamanho real (ARSLAN SELÇUK; SORGUÇ, 2015). A impressão 3D pode estimular a criatividade, permitindo a rápida realização de ideias sem passar por um longo processo de design. É capaz de mudar nossa percepção do espaço arquitetônico e, portanto, é capaz de transformar nosso modo de vida.

O objetivo deste estudo é analisar o progresso alcançado nas práticas de projeto

e construção arquitetônica através do uso da impressão 3D. Veremos como esta tecnologia pode ser melhorada explorando novos materiais adequados para o design. O principal objetivo é identificar os desafios do design arquitetônico criativo e sustentável na Tunísia usando a impressão 3D. Adotando uma abordagem empírica baseada em estudo de caso e análise de projetos concretos usando impressão 3D e novos materiais, a metodologia proposta visa avaliar pragmaticamente a relevância e eficácia dessas tecnologias no projeto e construção arquitetônica. A metodologia procurará identificar oportunidades para usar a impressão 3D para promover um projeto de construção mais sustentável e criativo na Tunísia. As tecnologias digitais, especialmente a manufatura aditiva (MA), estão revolucionando o cenário arquitetônico. Se no mundo, a tecnologia aditiva deixa as únicas aplicações de design e mobiliário para avançar em direção a estruturas complexas de edifícios e infraestruturas, ela permanece tímida na Tunísia. E como soluções industriais reais ainda precisam ser desenvolvidas na Tunísia, ainda há oportunidades importantes.

2 RUMO A UM NOVO MODO DE DESIGN: INOVAÇÃO-TECNOLOGIAS

Os avanços meteóricos da tecnologia estão abrindo caminho para um novo tipo de criatividade no campo da arquitetura e do design de interiores. Um dos avanços mais significativos é a impressão 3D. Esta tecnologia permite ligar o desenho arquitetônico à construção de uma nova forma, oferecendo assim novos horizontes para a criação arquitetônica. Permite ultrapassar fronteiras e libertar-se dos constrangimentos que impossibilitaram considerar o projeto e a construção como dois processos únicos e indivisíveis. Exige menos energia, menos mão de obra, também usa materiais com sabedoria. É possível calcular com precisão a quantidade de materiais necessários, o que reduz o desperdício e os custos, uma vez que o custo da construção varia dependendo de vários fatores, como a espessura da parede, o teor da mistura utilizada ou a localização da construção.

O trabalho de design é um espaço de liberdade num enorme volume de constrangimentos. Quando projetamos, temos restrições físicas, restrições de programa, mas esses ainda são pontos de partida que discutimos e que podemos ir além. E é aí que há um espaço de liberdade (RAYNAUD, 2004).

Arquitetos e designers podem, assim, explorar novos territórios criativos, integrando design e construção no mesmo processo, permitindo uma conclusão mais rápida e precisa dos projetos. Os arquitetos enfrentam constantemente desafios relacionados à necessidade de integrar cada vez mais informações em seus projetos desde o início do processo. Eles devem se adaptar constantemente às grandes mudanças tecnológicas, como Concepção Assistida por Computador (CAD), modelagem paramétrica, design gene-

rativo, práticas de Building Information Modeling (BIM) e outras tecnologias avançadas. Em resposta a esses desafios, novas e cada vez mais eficazes ferramentas lhes são constantemente propostas, ampliando uma onda tecnológica que ora as estimula, ora as supera, essencialmente de acordo com sua cultura digital e o contexto (socioeconômico, estrutural, organizacional) em que atuam no dia a dia.

A comunicação totalmente digital tem o benefício adicional de quebrar barreiras à criatividade arquitetônica. Um arquiteto pode, assim, oferecer soluções total ou parcialmente personalizadas a um preço melhor sem ter que pensar em como treinar profissionais para tornar sua ideia inovadora uma realidade (SWETS et al., 2000).

A arquitetura está entrando em uma nova era com novas visões criativas para esta grande arte que incorpora a diversidade cultural e as crenças de diferentes países ou ambientes (WANG, 2017). Esta nova era também permite uma maior variedade formal e riqueza simbólica para edifícios e espaços projetados por arquitetos e designers. Para conseguir isso, várias técnicas de impressão 3D podem ser usadas para imprimir modelos arquitetônicos, como estereolitografia, moldagem por deposição em fusão, sinterização seletiva a laser e jato de aglutinante. O aparecimento da impressora 3D na prática do arquiteto representa, em muitos aspectos, uma grande reviravolta, quase uma revolução, pois transforma o design e até mesmo a fabricação da arquitetura. Para conseguir isso, várias técnicas de impressão 3D podem ser usadas para imprimir modelos arquitetônicos, como estereolitografia, moldagem por deposição em fusão, sinterização seletiva a laser e jato de aglutinante. Cada tecnologia de impressão 3D oferece vantagens distintas, adaptadas a determinadas aplicações. Cada tipo de impressora 3D usa uma tecnologia específica que processa muitos materiais de maneiras diferentes. É importante enfatizar que uma das limitações atuais da impressão 3D é que não existe uma solução única para todos os materiais e impressoras. As vantagens da impressão 3D no setor da construção são caracterizadas pelas soluções inovadoras que oferece. Sustentabilidade e custo-benefício também são outros benefícios da impressão 3D. Diante de projetos de grande escala, a manufatura aditiva nos dá uma verdadeira autonomia de design, criando novas formas e atendendo a novos requisitos. Esta nova tecnologia já está acelerando a construção, ajudando os arquitetos a poupar tempo, esforço e materiais extra.

Os Emirados Árabes Unidos entenderam rapidamente os benefícios da impressão 3D. Eles até já estabeleceram uma estratégia que os coloca na vanguarda da impressão 3D. O seu objetivo é construir 25% dos novos edifícios no Dubai usando impressão 3D até 2030. Para os Estados Unidos e o Velho Continente, o número de impressões 3D também está aumentando. A empresa PERI GmbH iniciou a construção do maior complexo residencial impresso em 3D em novembro de 2020 na Alemanha².

² L'impression 3D en architecture : une technologie qui accélère la conception et la construction (<https://blog.>

Em outros lugares, a impressão 3D teve um impacto significativo e positivo na crise habitacional global, tornando possível construir casas para os sem-teto de forma mais rápida e econômica. A impressão 3D é o futuro da habitação sustentável e acessível, pensa o professor Banthia, que evoca a China, os Estados Unidos e Singapura, onde bairros inteiros foram construídos a partir desta tecnologia (HENSLEY, 2022). Empresas como a 14Trees usaram com sucesso esta tecnologia para construir habitações a preços acessíveis no Quênia, enquanto procuravam inovar para reduzir ainda mais os custos de construção. Os resultados obtidos por esta empresa foram superiores aos de projetos semelhantes nos Estados Unidos, o que atesta a importância potencial da impressão 3D na resolução da crise da habitação social em todo o mundo (EVERETT, 2021). No entanto, esta tecnologia também tem seus próprios desafios, em termos de investimento inicial dispendioso em impressoras 3D, a capacidade de encontrar materiais imprimíveis, que são bastante limitados, bem como capacidade de construção, integridade estrutural e responsabilidade, entre outros. Os arquitetos enfrentam desafios na avaliação da capacidade de seus edifícios impressos em 3D de suportar cargas significativas, como móveis, ao mesmo tempo em que garantem sua resistência estrutural. A adoção dessa tecnologia continua sendo um desafio para a profissão devido às mudanças que ela provoca, que afetam tanto a prática arquitetônica, a relação com o contexto ou os papéis dos arquitetos e profissionais a ela associados (DEUTSCH, 2019). Os arquitetos devem, portanto, adaptar-se a esses desenvolvimentos, garantindo a qualidade e a segurança de suas construções impressas em 3D. Apesar do rico potencial da impressão 3D, o seu custo de aquisição permanece elevado e muitos países mediterrânicos, neste caso na Tunísia, ainda não se apropriaram verdadeiramente desta técnica para a adaptar às necessidades da sociedade. Para promover a adoção da impressão 3D na Tunísia, é importante promover seu uso e desenvolver programas específicos de educação e treinamento. É igualmente importante educar empresas e agências governamentais sobre a importância e os benefícios do uso da impressão 3D.

3 TECNOLOGIAS E MATERIAIS DE IMPRESSÃO 3D EM DESIGN DE INTERIORES

As tecnologias e materiais de impressão 3D estão crescendo e começando a ser usados no design de interiores. Com essas novas possibilidades, os designers podem criar formas orgânicas únicas que antes eram impossíveis de alcançar com as técnicas tradicionais de fabricação. Como explica Lebrunet,

As tecnologias de impressão 3D hoje permitem materializar complexidades morfológicas muito grandes por meio de um processo que, em última análise, é muito simples

enscape3d.com/fr/impression-3d-architecture)

do ponto de vista conceitual, mas que teve que esperar por um certo nível de desenvolvimento tecnológico para ser implementado. (LEBRUNET, 2018).

Impressoras 3D e novos materiais estão abrindo novas perspectivas fascinantes no campo do design de interiores. Permitiu que muitos arquitetos e designers de interiores fossem ainda mais criativos nos seus layouts, móveis e itens de decoração de casa, dando-lhes um visual verdadeiramente personalizado e elegante. A principal vantagem deste processo reside no facto de simplificar a materialização dos projetos mais complexos em muito pouco tempo. Os detalhes estão perfeitamente executados e alinhados com a realidade do exemplo. Essa precisão é um trunfo considerável na arquitetura e, especialmente, no design. Muitos materiais são atualmente adaptáveis a vários processos de impressão 3D. Graças à moldagem por injeção (HEANEY, 2019), até mesmo as menores dimensões podem ser criadas a partir de plásticos, resinas ou alumínio. A cor, o acabamento da superfície e os detalhes são importantes. Apesar do limite de materiais utilizáveis, existe uma diversidade de materiais com diferentes propriedades que podem ser utilizadas. Estes materiais incluem fibra de vidro de nylon, material de nylon durável, material de gesso, material de alumínio, liga de titânio, aço inoxidável, bem como materiais de borracha banhados a prata, ou banhados a ouro. As possibilidades de impressão 3D são aumentadas graças ao avanço tecnológico dos materiais, que atendem a necessidades específicas. A gama de materiais utilizados na impressão 3D aumentou e tornou-se mais variada, incluindo materiais como: pós, resinas, plástico duro ou macio, metal, vidro fundido, aço inoxidável, eco-materiais como pós de madeira, rocha e muito mais. Atualmente, as máquinas de impressão 3D produzem apenas peças de material único, mas a possibilidade de fabricar plásticos compósitos está começando. A impressão 3D está começando a se desenvolver com outros materiais, é possível imprimir madeira em 3D, certamente, mas não é madeira maciça, é tratada com um plástico que serve como aglutinante e está na forma de um rolo, chamado WPC (wood plastic composite)³. Este material tem mais vantagens do que a madeira natural, proporcionando isolamento, mais resistência às intempéries, mais durabilidade e menores custos de manutenção. Por outro lado, representa um ativo estético adquirido pela variação dos tons e cores do produto impresso. A impressão 3D em madeira é uma técnica ecológica. Esta técnica de impressão 3D preserva os diferentes valores sensoriais deste material, tato, visão e até olfato. A aplicação deste material é relativamente restrita hoje devido à sua novidade. Os materiais escolhidos e a técnica de impressão são dois fatores cruciais que afetarão significativamente a resistência e a durabilidade das estruturas impressas em 3D. Para otimizar os materiais para impressão 3D, os projetistas devem dar atenção especial às propriedades mecânicas e térmicas do material final.

³ L'impression 3D en architecture : une technologie qui accélère la conception et la construction (<https://blog.enscape3d.com/fr/impression-3d-architecture>)

Assim, cientistas de todo o mundo estão trabalhando em faixas de processos que permitem maior controle das propriedades materiais (físicas, mecânicas e elétricas) dos componentes impressos, incluindo o monitoramento de como as estruturas moleculares são dispostas durante a impressão. (BOUFFARON, 2014).

Isso permite que cientistas e engenheiros controlem a resistência, tenacidade, flexibilidade e elasticidade dos materiais, oferecendo a possibilidade de uma combinação de propriedades que era apenas uma utopia há alguns anos. Graças às possibilidades oferecidas pela impressão 3D, o design de uma parede pode ser personalizado de acordo com várias necessidades. A resolução, a orientação da construção e a escolha dos materiais afetam a espessura das paredes ao usar a impressão 3D. As impressoras 3D podem alterar a espessura de uma estrutura com grande precisão. As impressoras 3D fabricadas usam métodos de otimização para determinar a espessura ideal de uma estrutura. Uma dessas técnicas é a otimização topológica, que utiliza fórmulas matemáticas para determinar a distribuição ideal de materiais dentro de um determinado volume, sujeitos a restrições mecânicas mais ou menos significativas (ALLAIRE; JOUVE, 2009). A inovação em torno da impressão 3D para a construção abrirá novos caminhos para a arquitetura quando puder finalmente integrar materiais, conhecimento e demandas locais para o público em geral.

4 IMPRESSÃO 3D A SERVIÇO DA SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA

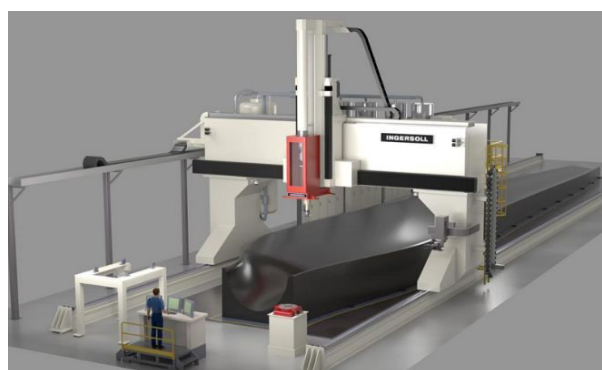
A impressão 3D é cada vez mais vista como uma tecnologia ecológica que tem o potencial de revolucionar a forma como fabricamos mercadorias. Esta tecnologia utiliza principalmente materiais comuns, o que permite reduzir o desperdício e obter objetos mais sustentáveis graças aos novos materiais utilizados. É provável que as condições climáticas desacelerem o processo de construção tradicional, mas as coisas ainda podem ser amplificadas com a impressão 3D. Essa tecnologia também é uma valiosa aliada da preocupação ambiental, uma característica muito importante na busca por processos de fabricação sustentáveis, que economizem recursos e resíduos. A manufatura aditiva é muitas vezes combinada com uma redução no uso de recursos, uma redução no impacto do transporte, reciclagem, reutilização de materiais e sustentabilidade dos métodos de impressão. Na medida em que as perdas de material podem ser evitadas, a manufatura aditiva é uma tecnologia que pode formar a base do desenvolvimento sustentável (GAO et al., 2015). De acordo com o relatório de análise de mercado de julho de 2021 da Grand View Research,

A crescente adoção de métodos de construção ecológica é um dos fatores-chave no desenvolvimento deste mercado. A indústria da construção está cada vez mais adotando impressão 3D e métodos de construção ecológica para reduzir custos e

sair de edifícios com melhor eficiência energética. ⁴.

Além disso, as impressoras 3D podem ser desenvolvidas para fabricar estruturas a partir de materiais orgânicos, sustentáveis e renováveis. Assim, ao usar menos materiais, gerar menos resíduos e potencialmente usar materiais naturais recicláveis ou biodegradáveis, os edifícios impressos podem reduzir significativamente sua pegada ecológica. Esta tecnologia pode ser a chave para criar edifícios sustentáveis e escaláveis no mercado imobiliário atual. A primeira casa impressa em 3D, feita inteiramente de materiais de base biológica a partir de matéria orgânica renovável, foi construída por pesquisadores da Universidade do Maine, EUA (Figura 1).

Figura 1 - Casa de base biológica impressa em 3D



Fonte: La première maison biosourcée imprimée en 3D⁵

Normalmente, as construções de edifícios 3D são baseadas principalmente em concreto ou argila. Neste gênero, “BioHome3D” quebra os códigos de construção. A casa de 55 metros quadrados, impressa em 12 horas em 3D, é construída a partir de produtos florestais biodegradáveis e recicláveis. Os pesquisadores substituíram os materiais usuais (cimento, concreto, argamassa) por um material feito de fibras de madeira e resinas naturais da indústria local, que podem ser secas e misturadas com termoplásticos. Segundo os pesquisadores, as paredes, o piso e o telhado da casa eram feitos de fibra de madeira e biossmol. Além de ser uma casa sustentável, a casa BioHome3D é eficiente em termos de isolamento e pode competir com construções padrão. Esta inovação demonstrou que a impressão 3D é perfeitamente compatível com uma visão de habitação social de alta qualidade, atípica, confortável e de alto desempenho.

⁴ GrandView. 3D printing construction market size, share & trends analysis report by construction method (Extrusion, Powder Bonding), by material type (Concrete, Metal), by end-user (Building, Infrastructure), and segment forecasts, 2022 – 2030. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-printing-constructions-market>. Acesso em 12 de Júlio de 2022.

⁵ La première maison biosourcée imprimée en 3D (<https://www.3dnatives.com/maison-biosourcee-29112022/>)

5 A TUNÍSIA DIANTE DE PROJETOS INOVADORES EM TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D torna possível fazer peças com formas e geometrias complexas, como arcos ou figuras abobadadas. Formas que às vezes são difíceis ou mesmo impossíveis de produzir com métodos convencionais. Alguns provavelmente pensam que a impressão 3D é usada para produzir pequenos objetos que podem ser segurados na mão. As empresas têm procurado explorar fluxos de trabalho aditivos para produzir componentes funcionais muito maiores. Nos últimos anos, várias iniciativas foram lançadas para criar casas e outras estruturas maiores produzidas inteiramente por impressão 3D, abrindo novas perspectivas no campo da construção e habitação sustentáveis que também atendem aos padrões modernos de conforto. A técnica de impressão 3D dá aos arquitetos liberdade de forma, mesmo com materiais de construção menos maleáveis, como o concreto. Existem vários exemplos da aplicação da impressora 3D em espaços arquitetônicos em todo o mundo: casas, cabanas, escritórios, pontes, pavilhões, estruturas de grande escala, abrigos. É claro que cada exemplo difere do outro, dada a diversidade de fatores climáticos e características construtivas de cada país. Esses exemplos demonstram a complexidade do tema. Os novos escritórios futuristas impressos em 3D projetados pela Killa Design (em colaboração com a Gensler) para o Comitê Nacional dos Emirados Árabes Unidos e que servirão de sede para a Dubai Future Foundation, bem como um espaço de exposição e incubadora para tecnologias emergentes na região, estão entre os primeiros locais operacionais totalmente impressos em 3D do mundo (Figura 2).

Figura 2 - Escritório do Futuro, Emirados Árabes Unidos/Escritórios feitos em Dubai



Fonte : Dubai debuts world's first fully 3D-printed building⁶

IÉ um edifício totalmente funcional com uma área de 250 m². Alguns elementos de encanamento, sistema de ar-condicionado, eletricidade, telecomunicações também teriam sido impressos em 3D. As peças foram impressas em uma fábrica em 17 dias e montadas no local em apenas 48 horas. Este edifício está equipado com tecnologias de poupança de energia. A forma de arco do edifício foi escolhida para otimizar a estabilidade e segurança da construção. Este edifício será um testemunho da eficiência e criatividade da tecnologia de impressão 3D. Esta tecnologia visa reduzir o tempo de construção, os custos de mão-de-obra e os resíduos de construção. Único em seu design e modularidade, o escritório do futuro é saudado como uma primeira grande iniciativa e um exemplo revolucionário de fabricação controlada por computador na construção civil. O projeto é um precursor do Museu do Futuro⁷ ((também desenhado por Killa Design). Faz parte da estratégia da Dubai Future Agenda, lançada pelos Emirados Árabes Unidos para se tornar uma grande incubadora de inovação e tecnologias do futuro no mundo. O Dubai também continua a impulsionar a agenda de inovação através de esforços de visão de futuro e do desenvolvimento do pensamento exponencial.

Em 2021, um grupo da Universidade de Waterloo, em Toronto, Canadá, construiu um muro de separação de 2,3 m × 5,4 m (Figura 3) para escritórios. A estrutura foi notada

⁶ Dubai debuts world's first fully 3D-printed building (<https://inhabitat.com/dubai-debuts-worlds-first-fully-3d-printed-building/>)

⁷ Museum of the Future : Le musée de Dubaï (<https://museumofthefuture.ae/en>)

por seu design e pelo fato de ter sido criada usando uma impressora 3D de última geração.

Figura 3 - Parede de alvenaria impressa em 3D



Fonte : Mur de maçonnerie imprimé en 3D : l'introduction de l'artisanat numérique⁸

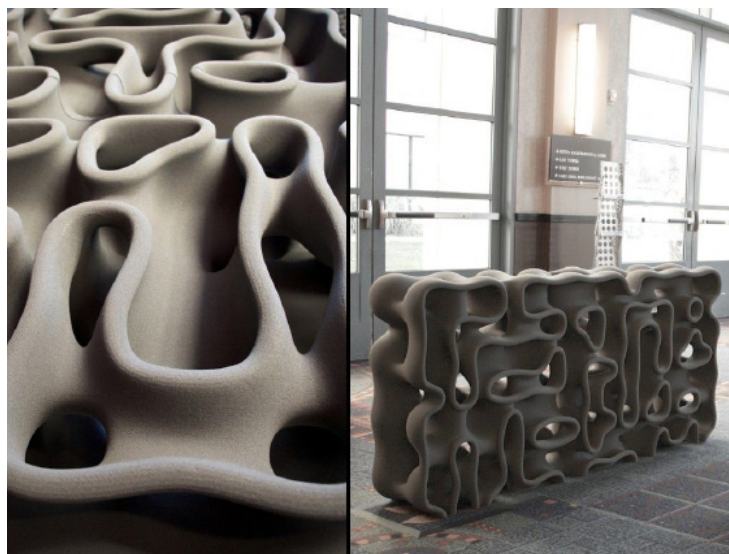
é em 3D : l'introduction de l'artisanat numérique

O projeto HIVE está a reinventar o artesanato e a arte de fazer objetos de barro. Combina cerâmica tradicional com geometria inteligente e precisão robótica. O objetivo é criar uma parede composta por cento e sessenta e cinco briquetes de argila impressos um a um. Com a impressora 3D, os triângulos formados por quatro formas hexagonais são combinados para produzir uma parede sólida e permeável. Este método também permite criar um objeto artístico único com um padrão, textura e cor distintos. A liberdade de design oferecida pela tecnologia de impressão 3D possibilitou a criação do padrão “favo de mel” visível na parede.

A fim de criar projetos convincentes, a Emerging Objects projetou, a partir de uma mistura de areia, uma parede impressa em 3D (Involute Wall) (Figura 4), fornecendo isolamento térmico e acústico (RAEL; SAN FRATELLO, 2018).

⁸ Mur de maçonnerie imprimé en 3D : l'introduction de l'artisanat numérique (<https://decor.design/fr/mur-de-maçonnerie-imprime-en-3d-lintroduction-de-lartisanat-numerique/>)

Figura 4- Uma parede 3D anti-ruído e anti-aquecimento



Fonte: Printing architecture: Innovative recipes for 3D printing. (RAEL; SAN FRATELLO, 2018)

O design original da Involute Wall, determinado pelo seu material e forma, permite absorver e redirecionar as ondas sonoras enquanto atua como uma massa térmica. Além disso, este projeto possibilita manter uma parte significativa da parede na sombra.

Com projetos cada vez mais ambiciosos e o desenvolvimento do design paramétrico, a impressão 3D está se tornando quase indispensável para a compreensão adequada da forma no espaço. A esperança está em materiais extrudíveis inovadores que seriam fortes o suficiente para funcionar sem reforço. Na Tunísia, a manufatura aditiva só recentemente começou a ser introduzida e sua exploração permanece muito modesta em comparação com as experiências globais. A experiência da Tunísia neste campo permanece limitada a clubes de fabricação digital em escolas de engenharia e eventos de desenvolvimento de tecnologia. Embora esta tecnologia tenha um grande potencial, a experiência tunisiana neste campo ainda é subdesenvolvida. As empresas poderiam alavancar essa tecnologia para fortalecer sua competitividade, mas isso exige maior adoção e exploração da impressão 3D no país. Assim, a Tunísia deve enfrentar o desafio para melhorar e fortalecer a expertise dos atores envolvidos nessa tecnologia, que tem grande potencial no campo da inovação. Reformas sérias e esforços de infraestrutura são essenciais para alcançar os objetivos acima. Portanto, as empresas digitais são convidadas a inovar e melhorar suas soluções de impressão 3D para alcançar a maturidade tecnológica e garantir a longevidade de sua competitividade entre as questões econômicas e ecológicas globais. É por isso que é essencial que a Tunísia estabeleça uma estratégia nacional para promover a fabricação aditiva para permitir a evolução da indústria tunisiana em direção à indústria 4.0 (BLANCHET, 2016). Isso requer, é claro, um conjunto de medidas:

- Conscientizar sobre a importância da impressão 3D e seus benefícios aprovei-

tando encontros de profissionais da área de arquitetura e eventos como feiras e congressos para melhor apresentar a técnica e tê-la adotada pelos profissionais da área.

- Formação orientada para 3D de qualidade para proporcionar aos industriais, investidores e designers as competências humanas capazes de se apropriarem destas novas técnicas e tecnologias. Os tunisianos já provaram a sua excelência em várias áreas, demonstrando a sua capacidade de aprendizagem e inovação, bem como a sua vontade de enfrentar desafios. Essas qualidades são amplamente reconhecidas e procuradas internacionalmente.

- Ao mesmo tempo, seria interessante impulsionar a pesquisa, especialmente na área de materiais, principal pilar da manufatura aditiva. O sucesso desta pesquisa depende de novas ferramentas de inteligência artificial e automação de design. Podemos imaginar uma isenção forfetária para empresas que estão ativamente envolvidas em pesquisa e inovação no campo da impressão 3D dedicada à arquitetura e construção. Esta iniciativa permitirá que um pequeno país mediterrânico em desenvolvimento, graças às suas ambições e ao nível de especialização dos seus profissionais, obtenha um retorno significativo do investimento através da poupança de tempo e materiais, bem como do reconhecimento internacional.

- Mudança de mentalidade: uma das principais chaves para maximizar e explorar de forma sustentável todas as possibilidades oferecidas pela manufatura aditiva, exigindo novas habilidades em engenharia e arquitetura. A fim de melhorar a colaboração entre os diferentes atores, é imperativo começar por agir sobre as mentalidades através do sistema educativo, associações, empresas, meios de comunicação e arquitetos que devem partilhar uma grande parte das responsabilidades. Muitos ainda estão culturalmente ligados a edifícios tradicionais, mas a aceitação deste tipo de construção desempenhará um papel na abertura coletiva e na melhoria de uma visão futurista que não se opõe à escassez de trabalhadores qualificados, dado que teremos uma alta demanda por profissionais em impressão 3D aditiva, sem mencionar que a possibilidade de personalizar o espaço de vida, trabalho ou mesmo lazer terá um impacto considerável no apaziguamento e na serenidade dos usuários. Um ambiente de vida bem projetado é a redução da tensão social.

Esta tecnologia mudará completamente a nossa abordagem do espaço, arquitetura, construção e até mesmo das nossas relações sociais. Para isso, é necessário que o governo tunisiano crie programas e iniciativas educacionais adaptados para promover e incentivar o uso da impressão 3D neste campo. Também seria sensato criar parcerias com empresas especializadas neste campo, a fim de oferecer formação e estágios para os alunos. O ensino da impressão 3D na arquitetura de interiores incidirá na utilização de tecnologias digitais para a concepção e fabricação de peças arquitetônicas; fornecerá conhecimentos e habilidades essenciais aos alunos de design de interiores para que eles

possam projetar designs únicos e inovadores. Além disso, ensinar a impressão 3D a uma geração mais jovem ajudará a incentivar a criatividade e a inovação em toda a Tunísia, o que beneficiará a economia. Além disso, essa tecnologia também pode fornecer aos alunos valiosos conhecimentos práticos e habilidades no campo da arquitetura e engenharia que serão necessários para que eles tenham sucesso no mundo profissional.

6 CONCLUSION

A tecnologia de impressão 3D é um método inovador de design e produção que complementa e aprimora as técnicas tradicionais. Não apenas apresenta uma solução econômica de curto e longo prazo para o desenvolvimento sustentável, mas também oferece ferramentas digitais para a construção de estruturas mais ecológicas. Esta tecnologia permite maior liberdade de design, produção mais rápida de produtos finais funcionais e redução de desperdícios e custos. Os arquitetos apreciam-na pela sua simplicidade e flexibilidade, embora a dimensão dos projetos e a disponibilidade de materiais continuem a ser desafios a superar.

A manufatura aditiva é uma tecnologia muito avançada, mas pouco espalhada na Tunísia. Esta tecnologia abre caminho para o futuro design criativo e sustentável na Tunísia, que pode desempenhar um papel fundamental na promoção da inovação e do desenvolvimento sustentável no setor da construção. No entanto, a Tunísia deve comprometer-se a melhorar e fortalecer a experiência dos atores envolvidos na impressão 3D. Reformas e investimentos em infraestrutura são essenciais. As empresas precisam inovar e melhorar suas soluções para alcançar a maturidade tecnológica e garantir a sua competitividade. O governo deve implementar programas e iniciativas educacionais para promover o uso da impressão 3D na arquitetura de interiores e incentivar a criatividade e a inovação. Integrar a educação em impressão 3D no currículo dos alunos de arquitetura e engenharia é um método eficaz de transmitir habilidades práticas e equipá-los com os desafios futuros em seus respectivos campos. Os mais recentes avanços significativos nesta tecnologia oferecem possibilidades criativas e inovadoras, especialmente através do uso de materiais variados. Ao integrar essa tecnologia nos currículos, as instituições de ensino podem ajudar a moldar uma nova geração de profissionais capazes de enfrentar os desafios de design e produção de amanhã. A Tunísia tem uma oportunidade real de se tornar pioneira no uso desta tecnologia para o desenvolvimento sustentável. Mas isso exigirá vontade política, investimentos substanciais e reformas estruturais, particularmente no sistema educacional, para apoiar e antecipar a revolução da impressão 3D.

REFERÊNCIAS

- ALLAIRE, G.; JOUVE, F. Design et formes optimales (III): Optimisation topologique. **Images des Mathématiques**, [s. l.], p. <http://images.math.cnrs.fr/Design-et-formes-optimales-III.html>, 2009.
- ANDRÉ, J.-C. **De la fabrication additive à l'impression 3D/4D 1: Des concepts aux réalisations actuelles**. [S. l.]: ISTE Group, 2018. 2018.
- ARSLAN SELÇUK, S.; SORGUÇ, A. Reconsidering The Role of Biomimesis in Architecture An Holistic Approach for Sustainability. In **2nd international sustainable building symposium—ISBS**, [s. l.], p. 382–388, 2015.
- BIER, H. Henriette Bier et le laboratoire Hyperbody. **Imprimer Le Monde**. [S. l.]: Centre Pompidou, 2017. p. 260–261. Disponível em: <http://www.editions-hyx.com/fr/imprimer-le-monde-0>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- BLANCHET, M. Industrie 4.0 : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique. **Géoéconomie**, Parisv. 82, n. 5, p. 37–53, 2016.
- BOUFFARON, P. Impression 3D: Les prémisses d'une nouvelle (r) évolution industrielle? **Ambassade de France aux Etats-Unis, Washington, USA**, [s. l.], 2014.
- DEUTSCH, R. **Superusers: design technology specialists and the future of practice**. [S. l.]: Routledge, 2019. 2019.
- EVERETT, H. **14Trees to build largest 3D printed affordable housing project in Kenya**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://3dprintingindustry.com/news/14trees-to-build-largest-3d-printed-affordable-housing-project-in-kenya-200870/>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- GAO, W.; ZHANG, Y.; NAZZETTA, D. C.; RAMANI, K.; CIPRA, R. J. RevoMaker: Enabling multi-directional and functionally-embedded 3D printing using a rotational cuboidal platform. Em: Proceeding of the 28th annual ACM symposium on user interface software & technology, 2015, [s. l.], . **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2015. p. 437–446.
- HEANEY, D. F. **Designing for metal injection molding (MIM)**. Em: Handbook of metal injection molding. [S. l.]: Elsevier, 2019. p. 25–43.

HENSLEY, L. **Can a 3D architectural printer be the housing solution we need?**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.cpacanada.ca/en/news/pivot-magazine/3d-printed-houses>. Acesso em: 13 jun. 2023.

LEBRUNET, H. **La disparition de l'architecte : la conception architecturale au prisme des nouvelles technologies et de l'époque contemporaine**. 2018. thesis - Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance, [s. l.], 2018. Disponível em: Acesso em: 28 fev. 2023.

NEBRIDA, J. **Automated Onsite Construction: 3D Printing Technology** Versão 4312547. Rochester, NY: [s. n.], 2022. SSRN Scholarly Paper. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/abstract=4312547>. Acesso em: 10 jan. 2023.

OUHSTI, M.; HADDADI, B. E.; BELHOUIDEG, S. Matériaux intelligents par la technologie d'impression 3D: la fabrication intelligente. **Revue de l'entrepreneuriat et de l'innovation**, [s. l.], v. 2, n. 6, 2018. Disponível em: <https://revues.imist.ma/index.php/REINNOVA/article/view/13084>. Acesso em: 28 fev. 2023.

RAEL, R.; SAN FRATELLO, V. **Printing architecture: Innovative recipes for 3D printing**. [S. l.]: Chronicle Books, 2018. 2018.

RAYNAUD, D. Contrainte et liberté dans le travail de conception architecturale. **Revue française de sociologie**, Parisv. 45, n. 2, p. 339–366, 2004.

SWETS, J. A.; DAWES, R. M.; MONAHAN, J. Better decisions through science. **Scientific American**, [s. l.], v. 283, n. 4, p. 82–87, 2000.

WANG, W. **Architecture futuriste**: création de l'architecture futuriste à l'ère de la technologie numérique. [s. l.], p. 57, 2017.

Data de Submissão: 14/03/2023

Data de aceite: 31/07/2023

Data de publicação: 18/09/2023

