

IMPRESSÃO 3D E FABRICO ADITIVO – AS IMPLICAÇÕES EM TERMOS DE SST

Introdução

O presente artigo sobre a impressão 3D foi redigido em nome da Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA). Nele são analisadas algumas questões essenciais relativas às oportunidades e aos desafios que a emergente indústria de impressão 3D implica para empregadores e trabalhadores e ainda para os novos empreendedores, que trabalham a partir de casa ou de locais de trabalhos informais. O presente documento de reflexão tem por objetivo dar a conhecer a tecnologia de impressão 3D e explorar o seu impacto potencial, não só nos ambientes de trabalho já existentes, mas também nos novos ambientes. Por fim, serão tecidas algumas recomendações ao nível europeu relativamente às medidas a tomar para que a impressão 3D proporcione um ambiente de trabalho mais seguro, saudável e gratificante, quer no contexto da relação empregador-trabalhador, quer no novo contexto informal do «auto-empresendedor».

O que é a impressão 3D?

A impressão 3D tem merecido especial atenção por parte da indústria da inovação e da criação. Mas o verdadeiro significado desta tecnologia continua a ser pouco compreendido pelo público em geral. Fabrico aditivo, produção desktop, prototipagem rápida, fabrico digital — são várias as designações para esta nova tecnologia.¹ A impressão 3D é hoje parte integrante da revolução verificada nos sistemas de fabrico digital, resultante da total computadorização dos processos de design e fabrico de produtos.² Contudo, a utilização da designação «impressão 3D» para englobar um vasto leque de tecnologias de nova produção digital (tais como as fresadoras CNC (controlo numérico informático), os cortadores de laser, os traçadores de aço computadorizados, etc.) é enganadora. Por exemplo, apesar de o CNC ser uma técnica tradicional de fresagem, os movimentos da máquina são controlados por via digital. Todos eles oferecem o mesmo nível de liberdade em forma e unicidade, mas a maioria dos processos digitais de fabrico baseia-se na subtração de material a partir de um sólido, através de fresagem, serragem ou corte. A impressão 3D permite adicionar material de modo a criar um produto a partir do zero. Fabrico aditivo seria, portanto, a designação mais adequada para este processo.³ No futuro, estas duas técnicas digitais (subtração e adição) poderão ser utilizadas com alguma flexibilidade: as máquinas CNC e os sistemas robóticos poderão facilmente passar de produção subtrativa a produção aditiva, bastando para isso mudar as respetivas cabeças de trabalho.

No presente artigo, a expressão «impressão 3D» designa as diferentes técnicas de fabrico de produtos existentes apenas em ficheiro informático, através da utilização de uma máquina que adiciona sucessivas camadas de matéria-prima até à criação de um produto acabado.⁴ O processo tem início com o desenho do produto em computador. O documento deste desenho assistido por computador (ficheiro CAD) é basicamente uma ordem de impressão elaborada.

Como funciona

O desenho gerado por computador é digitalmente dividido em milhares de camadas. Esta divisão é efetuada com software que prepara o desenho para uma ordem de impressão. Outra forma de criar um suporte de impressão digital de um produto consiste em efetuar uma varredura a 3D de um

1 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

2 <http://www.wired.co.uk/article/digital-fabrication>

3 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

4 <http://additivemanufacturing.com/basics/>

objeto existente. Os dados obtidos poderão então ser transformados numa ordem de impressão através de software especial. Os scanners utilizados nestes processos podem custar de 50 EUR a 50 000 EUR. Uma impressora 3D desktop tem um custo aproximado de 1000 EUR.

Uma impressora 3D profissional para prototipagem e de produção de edição limitada pode custar entre 2000 EUR e 20 000 EUR. A substituição das técnicas de produção em larga escala por técnicas de impressão 3D exige um investimento mínimo na ordem de 1 milhão de EUR.

Atualmente, a técnica de impressão 3D pode ser dividida em dois processos técnicos diferentes. Os impactos que esses processos terão, em termos futuros, no desenho, na produção e na distribuição de bens também diferem: a técnica de aglutinação é utilizada na indústria mais avançada, enquanto a técnica de extrusão, menos refinada, é normalmente usada no mercado de consumo e nas experiências de impressão 3D realizadas da base para o topo.⁵

Aglutinação

A técnica de aglutinação consiste numa cabeça de impressão (equipada com um laser, um feixe de raios ultravioleta (UV), um aquecedor, etc.) destinada a aglutinar material sintético previamente disposto na forma pretendida. Além de resultar num produto de qualidade superior, também permite utilizar uma maior variedade de materiais. Esta técnica exige ainda um nível mais elevado de conhecimentos e precisão, e é mais dispendiosa. Estas impressoras 3D são mais caras, tal como os materiais utilizados. A técnica de aglutinação é, por estes motivos, maioritariamente utilizada em processos mais sofisticados e (semi-)industriais.

Extrusão

A técnica de extrusão envolve a extrusão de material aglutinante numa coreografia precisa de tempo e espaço. Este é o processo mais utilizado com impressoras 3D de código aberto e de funcionamento intuitivo, normalmente distribuídas num kit de construção em contraplacado (por exemplo a Makerbot, a Ultimaker, a Airwolf). O material extrudido pode ser um líquido, pó, filamentos sintéticos ou material biológico, tais como cerâmica ou borracha. Muitas destas impressoras são vendidas em kits desmontados. A produção é mais rápida e barata, mas o produto final é menos sofisticado.

Materiais novos e usados

Os primeiros materiais utilizados nas técnicas de impressão 3D foram os plásticos sintéticos. O número de materiais que pode ser utilizado com impressoras 3D aumentou muito nos últimos 10 anos. Hoje em dia, são vulgarmente usados materiais «tradicionais» como as cerâmicas, o aço, o vidro e mesmo a madeira. Apesar de, até à data, terem sido testadas muito poucas combinações de filamentos e impressoras 3D, os resultados têm demonstrado que, durante a impressão, as impressoras 3D desktop apresentam riscos de emissão de um grande número de partículas ultrafinas (PUF - partículas com menos de 100 nm) e de alguns compostos orgânicos voláteis (COV) perigosos.⁶

Os materiais usados na impressão 3D em contexto industrial são diferentes dos utilizados em ambiente doméstico. Neste último caso, os materiais mais utilizados são o ácido polilático (PLA) biodegradável e o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), um plástico à base de óleo e, como tal, com maior índice de toxicidade. A ventilação é recomendada em caso de utilização do PLA e obrigatória se for utilizado o ABS.⁷

⁵ <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

⁶ <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b04983>

⁷ <https://all3dp.com/pla-abs-3d-printer-filaments-compared/>

O processo industrial de impressão 3D utiliza maioritariamente poliamida (por ex., nylon) em líquido ou em pó. Trata-se de um plástico à base de óleo. O processo de aquecimento resulta na libertação de fumos tóxicos, o que torna necessário prever um sistema de ventilação. Melhor ainda seria o confinamento da impressora, de modo a impedir a libertação das emissões para a atmosfera do local de trabalho.

Alguns químicos plásticos, tais como as resinas epoxídicas, estão a ser utilizados em estereolitografia e para tratamento superficial de objetos impressos. Estes químicos podem causar dermatites de contacto. Os plásticos não tratados não devem ser tocados e deve evitar-se a contaminação de superfícies e vestuário. Outros químicos utilizados para pós-processamento e tratamento superficial também podem ser perigosos e devem ser manuseados com cuidado.

A poliamida em pó é por vezes misturada com alumínio (alumida). Apesar de menos tóxica, a utilização deste material continua a exigir a tomada de medidas específicas de prevenção em matéria de saúde e segurança. Outros materiais aplicados pela indústria são a polisulfona (PSU) e a polifenilsulfona (PPSU), ambas resinas sintéticas cuja utilização exige medidas de segurança em termos de ventilação e manuseamento.⁸ O segmento da indústria de impressão 3D onde se tem verificado o maior crescimento tem sido o da utilização do metal.⁹ Pelo facto de se utilizar uma combinação de metal com sintéticos à base de óleo, o processo exige a utilização de um sistema de ventilação. As elevadas temperaturas também implicam a adoção de medidas de segurança e manuseamento. No que diz respeito à impressão do metal, deverá ter-se em conta o potencial cancerígeno do material em causa, o que torna necessária a utilização de uma máscara de proteção das vias respiratórias durante o manuseamento dos pós em questão.

Os novos materiais são materiais inteligentes que reagem às diferenças de calor, pressão ou luz após a produção. A utilização de nanocarbonos também é um processo recente que se espera vir a ser, num futuro próximo, aplicado em larga escala na indústria. Uma vez que a maioria destes materiais de alta tecnologia ainda é experimental, a sua utilização requer uma análise exaustiva em termos de segurança.¹⁰

Outro aspeto importante a ter em conta é o pré e pós manuseamento dos materiais de impressão e dos objetos impressos. No caso dos materiais de impressão em forma de pó, convém evitar a libertação dos mesmos através, por exemplo, de um sistema de ventilação por exaustão local e, por conseguinte, da utilização de métodos de trabalho adequados. Existe ainda um risco de combustão espontânea dos pós (do metal), que deve ser reduzido através, por exemplo, da utilização de dispositivos de deteção de zonas potencialmente explosivas.

A promessa de uma nova revolução industrial

Vivemos numa era digital. As redes sociais têm sido um elemento perturbador do jornalismo tradicional.¹¹ As compras online estão a levar ao encerramento do comércio tradicional e destituíram de vida os centros das nossas cidades. As compras online têm mesmo vindo a alterar o paradigma laboral, pois o trabalho está a tornar-se cada vez mais automatizado. A robótica mudará a forma como conduzimos os nossos automóveis e gerimos as nossas casas. Por fim, também a forma como desenhamos, fabricamos e distribuimos os bens ao consumidor nesta era digital será modificada pela tecnologia de impressão 3D. Nos últimos anos, as expectativas criadas em torno desta tecnologia têm sido tão elevadas que não se espera nada menos que uma iminente revolução industrial. Pelo menos, foi esta a mensagem do influente relatório de 12 páginas publicado no *The Economist* em 2012.

⁸ <http://www.stratasys.com/materials/material-safety-data-sheets/fdm>

⁹ <https://www.3dprintingmaterialsconference.com/3d-printing-materials/metals-are-the-fastest-growing-segment-of-3d-printing-metal-sales-growing-by-32/>

¹⁰ <https://www.sculpteo.com/blog/2016/09/28/top-10-future-3d-printing-materials-that-exist-in-the-present/>

¹¹ <http://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/news/how-journalism-faces-second-wave-disruption-technology-and-changing-audience-behaviour-0>



The Economist, abril de 2012

Nessa altura, previa-se que todas as casas estivessem brevemente equipadas com uma impressora 3D. Isso significaria o fim da produção em massa. Mais precisamente, aquilo que o *The Economist* previu foi uma pós-revolução industrial. Qualquer pessoa poderia descarregar a matriz digital de um produto a partir da internet e imprimi-la em casa carregando apenas num botão. Esta tecnologia permitiria ainda fazer alterações ao produto: por exemplo, uma pessoa com pés largos poderia facilmente imprimir um sapato ligeiramente mais largo. Este produto único e personalizado teria um custo semelhante ao de um produto fabricado em massa numa fábrica chinesa, o que acabaria por abalar o status quo do setor da produção. Verificar-se-ia também uma redução na procura de produtos novos decorrente da generalização dos trabalhos de reparação, uma vez que as peças necessárias à reparação dos aparelhos danificados poderiam ser facilmente descarregadas em casa a partir de uma impressora 3D. Considerando a transferência da produção para o contexto doméstico, o dispêndio de tempo e energia na distribuição dos bens seria limitado. Além disso, acabaria por ser ainda repensada a relação entre oferta e procura, pois as pessoas imprimiriam apenas aquilo de que precisariam. Tal significaria o fim dos stocks e da sobreprodução. Esta nova revolução industrial poderia também ser ecológica.¹²

Não foi por mera coincidência que este artigo foi publicado, nesta altura, no *The Economist*. A técnica de impressão 3D já existe desde meados da década de 1980. A estereolitografia foi patenteada em 1984 pelo cientista francês Alain Le Mehaute. Ainda assim, foram precisos mais 10 anos para que a «impressão 3D» fosse uma realidade. Nessa altura, apenas as indústrias altamente especializadas, como a indústria dos cuidados médicos, da produção automóvel e da engenharia aeroespacial, utilizavam impressoras 3D para experiências de prototipagem e produção flexível. Na primeira década do século XXI foram finalmente feitos progressos significativos. Passou a ser possível efetuar impressões 3D em larga escala, não só com a utilização do plástico, mas também com metal, materiais condutores, vidro, cerâmica e mesmo tecidos orgânicos. Grandes empresas, como a Canon e a Siemens, começaram a procurar no mercado impressoras 3D fáceis de utilizar pelo consumidor. A Makerbot, uma empresa norte-americana, vendeu a primeira impressora 3D desktop por pouco mais de 1000 EUR em 2008, tornando a tecnologia de impressão 3D acessível à generalidade dos consumidores. Sensivelmente pela mesma altura, o projeto de investigação RepRap (máquina de prototipagem e replicação rápida) desenvolveu uma impressora desktop rudimentar, essencialmente capaz de produzir componentes plásticos para impressoras desktop. As peças mecânicas da RepRap podem ser previamente encomendadas online. Por outras palavras, a RepRap é a primeira impressora 3D que se pode autorreplicar, e isso apenas por um custo de 200 EUR. O software utilizado pela RepRap é de código aberto e pode ser descarregado gratuitamente.

Resumindo, no período de apenas uma década, a impressão 3D deixou de ser um método futurista de produção apenas utilizado pelos mais entendidos em informática, por designers vanguardistas e

¹² <https://3dprint.com/144928/3d-printing-environmental/>

indústrias de alta tecnologia, para passar a ser uma ferramenta de produção flexível caseira, de utilização generalizada e amiga do utilizador. Tal como descrito pelo *The Economist*, é o «início de uma nova revolução industrial». O impacto da tecnologia de impressão 3D sente-se não só na economia, mas também ao nível social e humano. Além disso, a melhoria ao nível do bem-estar e os progressos resultantes de um fabrico eficiente e personalizado podem ser significativos. A impressão 3D abre caminho a um método de produção local e baseado na procura, sendo, por isso, mais sustentável. Uma vez que a impressão 3D se encontra estruturada em código aberto, é mais acessível a novas empresas e à inovação em pequena escala do que a tradicional indústria da produção. Por este motivo, será uma revolução industrial, não só mais ecológica, mas também mais imparcial, favorecendo o consumidor.

O impacto da impressão 3D pode ser dividido em dois níveis:

▪ Social

A impressão 3D reforçará a inclusão social. Com um investimento mínimo, qualquer pessoa poderá abrir um pequeno negócio a partir da sua própria casa. Apenas precisará de um computador, de uma impressora 3D e de uma ligação rápida à internet. Esta tecnologia permite a livre troca de conhecimentos, ideias e, em grande medida, de software. O fabrico digital deu origem a um «movimento de fazedores» protagonizado por consumidores que fabricam os seus próprios produtos. Apesar de este movimento ocorrer a par da intrusão informática (hacking), da produção artesanal e das experiências científicas, a impressão 3D é considerada o centro desta tendência mundial. O impacto do movimento de fazedores dificilmente pode ser sobrestimado aos níveis económico e social. Aquilo que a Airbnb fez pela indústria hoteleira é aquilo que a impressão 3D pode fazer pela produção industrial: a democratização radical do design, da produção e da distribuição. Além disso, as condições em que a atividade é executada determinam o nível de controlo da tecnologia de impressão 3D.

▪ Individual

Resumindo, a impressão 3D permite aceder individualmente a melhores produtos. Os desejos e as necessidades individuais podem ser satisfeitos com maior facilidade. Além disso, os produtos serão feitos de componentes substituíveis e descarregáveis, o que facilitará a sua reparação. O consumidor produtor, ou o *prosumer*, passa a ter maior poder e a ser capaz de melhorar o seu dia-a-dia. O maior impacto que a impressão 3D terá no indivíduo será provavelmente ao nível psicológico. Tal como o sociólogo Richard Sennett referiu no seu livro *The Craftsman*, a produção de bens é uma necessidade profundamente enraizada no ser humano. Promove o autodesenvolvimento, a autoestima e a autorrealização. Somos aquilo que fazemos, por assim dizer. Nos tempos modernos em que vivemos, um movimento de fazedores possibilitado por uma tecnologia acessível de fabrico digital, como a impressão 3D, confere ao indivíduo mais autonomia e oferece-lhe a possibilidade de moldar a sua própria vida, quer ao nível psicológico, quer ao nível material. Este movimento promove também o aparecimento de novas redes sociais e reforça a coesão, uma vez que a informação e o conhecimento são partilhados livremente. As Maker Faires mundiais são um ponto de reunião destes produtores «faça-você-mesmo». Neste sentido, pode dizer-se que a impressão 3D deu início a um movimento « façamos-nós-mesmos ».



Maker Faire

Evolução em vez de revolução

Mas hoje em dia, cinco anos após a publicação do artigo no *The Economist*, a revolução ainda não teve início. Longe disso. A impressão 3D não está sequer generalizada.¹³ A Makerbot quase abriu falência em 2015 e a RepRap pouco evoluiu desde o seu lançamento. Devido à natureza desorganizada e fragmentada da indústria de impressão 3D, são poucos os dados referentes ao seu contributo económico à escala europeia. Contudo, algumas estimativas fiáveis referem que, nos países europeus mais desenvolvidos, não mais de 1 % da população possui uma impressora 3D. Ainda assim, a maioria dos produtos impressos com esta tecnologia é fabricada em casa e distribuída numa economia de partilha. A impressão 3D de cariz industrial é ainda menos expressiva do que a impressão doméstica. Para dar um exemplo, o contributo económico de toda a indústria de impressão 3D nos Países Baixos em 2015 foi estimado em cerca de 45 milhões de EUR, o que corresponde a 0,005 % do Produto Interno Bruto (PIB) do país, que é de 888 mil milhões de EUR. Não existem dados que comprovem que este valor seja significativamente mais elevado noutros países da União Europeia (UE). O crescimento médio anual da indústria de impressão 3D ao longo dos últimos cinco anos foi de 30 %. Mesmo que este número duplique, serão necessários pelo menos mais cinco anos até que a impressão 3D possa competir com um setor económico como o da música pop. O impacto da tecnologia de impressão 3D é difícil de prever. Contudo, uma coisa é certa: não substituirá a indústria existente, mas será antes um complemento à mesma.

A utilização da impressão 3D tem vindo a ser alvo de um maior sentimento de desconfiança. Por um lado, assiste-se ao aparecimento de uma nova indústria, mais flexível e muito avançada. Estas empresas desenvolvem as suas atividades em domínios como os cuidados médicos e a produção automóvel, mas também estão presentes no setor da moda e dos produtos de consumo diário. Por outro lado, a produção «faça-você-mesmo» em pequena escala e, por vezes, de baixa tecnologia tem vindo a aumentar. Estas microfábricas e start-ups são criadas por designers, cooperativas, pequenas empresas e redes informais. Contudo, aquilo que ainda falta é a utilização alargada da impressão 3D pelos consumidores. O movimento de fazedores é constituído por amadores qualificados e adotantes precoces.

Uma nova indústria com impressoras 3D

Oportunidades e riscos para os empregadores

A impressão 3D abre as portas a novos modelos de negócio. A plataforma online Open Desk, sediada em Londres, nem sequer possui uma unidade de produção. A coleção de mobiliário que disponibiliza é fruto da criação de designers de todo o mundo. Todo o mobiliário é feito a partir de tábuas de madeira. Quando um cliente faz uma encomenda, a Open Desk procura o local de produção digital mais próximo do cliente. Depois de pagos os custos de produção ao referido local, o lucro é dividido entre a Open Desk e o designer. Desta forma, uma empresa internacional de produção de mobiliário pouco mais precisa do que de um serviço de assistência ao cliente. A Shapeways é uma empresa global que permite aos clientes imprimirem os seus próprios designs. Os designers profissionais podem também carregar os seus designs para que os consumidores possam encomendá-los. Após uma encomenda, a Shapeways paga ao designer os royalties que lhe correspondem. Esta fábrica de produção a pedido só existe atualmente em Nova Iorque, mas brevemente expandir-se-á para diferentes locais do mundo.

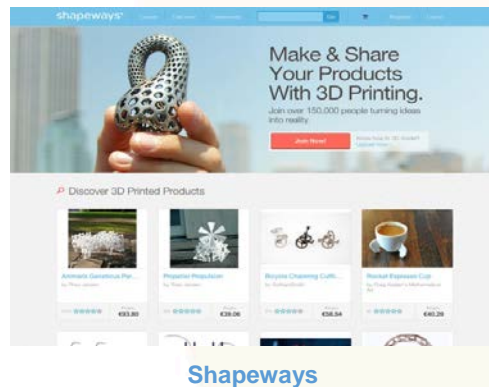
Os novos desafios que se colocam às empresas que trabalham em larga escala com impressoras 3D estão relacionados com a saúde e a segurança no trabalho.¹⁴ Neste contexto inserem-se questões como a exposição ao gás e a certos materiais, o manuseamento de materiais, a eletricidade estática, as peças em movimento e as pressões.¹⁵

¹³ <http://www.techrepublic.com/article/why-desktop-3d-printing-still-sucks/>

¹⁴ <http://www.cmu.edu/ehs/fact-sheets/3D-Printing-Safety.pdf>

¹⁵ <http://www.additivemanufacturing.media/articles/changing-the-rules>

Por razões de proteção de direitos de autor e combate à produção ilegal, será ainda necessária uma monitorização rigorosa dos trabalhadores. Quando é produzida uma réplica de uma figura da saga Star Wars, podemos estar perante uma violação dos direitos de autor. Mas quem é o responsável: o designer, a Shapeways ou o comprador? Uma vez que a impressão 3D exige precisão, o local de trabalho deve estar limpo e organizado e a interface do utilizador deve fornecer instruções claras e compreensíveis. Erros de programação ou de ajuste e calibragem da impressora podem ocorrer com alguma facilidade. Além disso, um mau funcionamento do produto final resultará mais facilmente num processo judicial, uma vez que o consumidor moderno é bastante mais exigente.



Shapeways

O lançamento de novos produtos deverá ter sempre na linha da frente a preocupação com a segurança. Um exemplo disso é a «De Kamermaker», uma unidade de impressão 3D concebida para o setor da arquitetura pela empresa holandesa DUS Architects. Esta enorme impressora 3D permite imprimir elementos de construção de 50x50 cm. Mas o que significa isto em termos de segurança para os trabalhadores da construção? No Instituto de tecnologia de Massachusetts (MIT) em Boston, um grupo de investigadores chamado Mediated Matters, liderado por Neri Oxman, tem vindo a realizar experiências com construções impressas em 3D, baseadas em formatos e configurações naturais. Assistimos atualmente a uma disseminação da produção híbrida, em que apenas partes de um produto são impressões 3D.

O que também tem faltado na indústria da impressão 3D é um sistema standard universal que tanto possa ser usado a nível individual, como pela indústria emergente. Isso permitiria partilhar peças, beneficiando assim a sustentabilidade e a segurança.

O estúdio de design italiano-japonês Minale Maeda está a produzir Keystones, uma junta impressa a 3D que permite montar o próprio mobiliário utilizando painéis de madeira normalizados. A solidez e a tensão destas peças deve ser validada e certificada. Estes novos produtos e técnicas são, muitas vezes, desenvolvidos ao nível empresarial, por equipas especificamente formadas para esse fim. Mas quem detém a autoria destas inovações? Se esta questão não for devidamente regulamentada, poderão criar-se tensões entre empregador e trabalhador.

É necessário um investimento avultado para introduzir a tecnologia de impressão 3D numa instalação de produção já existente. A vantagem é que não são necessários investimentos em moldes ou maquinaria especial para testar protótipos. Os novos produtos podem ser lançados no mercado quase imediatamente e a um custo relativamente reduzido. As novas técnicas também oferecem novas possibilidades. Por exemplo, a pen 3D é uma impressora que se assemelha a uma caneta e que lhe permite desenhar em 3 dimensões. Por razões de saúde e segurança, estas novas e práticas impressoras 3D devem ser rigorosamente testadas e reguladas devido ao calor que emitem. Um número cada vez maior destas canetas usa luz ultravioleta.

Existe uma geração de jovens Millennials que se sentem atraídos para as indústrias inovadoras e digitais, tais como a impressão 3D e que têm exigências diferentes em termos de qualidade do

trabalho. Regra geral, tal significa que a procura de trabalhadores mais jovens acentuar-se-á devido à sua visão diferenciada do mundo do trabalho: o tempo livre e o auto-desenvolvimento são mais valorizados do que o dinheiro e a segurança laboral. Os contratos a curto prazo são agora o novo padrão. Em compensação, estes jovens trabalhadores (criativos) exigem ter uma participação ativa e trabalhar num ambiente dinâmico.

As constantes inovações e desenvolvimentos exigem um processo contínuo de investigação e desenvolvimento, além de investimentos em trabalhadores altamente qualificados, os quais devem ser constantemente atualizados através de ações de formação e educação.¹⁶

O quadro seguinte mostra as alterações das condições de trabalho num setor de produção flexível e personalizado com tecnologia de impressão 3D, relativamente à indústria de produção tradicional.

Quadro1: Alteração das condições de trabalho

Indústria tradicional	Produção digital
Estrutura hierárquica	Estrutura democratizada
Centralizada	Aberta
Regulação	Responsabilidade
Centrada na produção	Centrada na comunicação
Promoção	Formação
Segurança financeira/profissional	Liberdade e flexibilidade

Implicações para os trabalhadores e respetivos empregos

No que diz respeito ao futuro do emprego, a questão fulcral que se coloca com a impressão 3D (tal como com a robótica e outras técnicas de produção automatizadas) é: virá ela substituir ou alterar o paradigma laboral existente? A resposta é simultaneamente afirmativa e negativa.¹⁷

Afirmativa, porque as máquinas apoderar-se-ão dos processos manuais e flexíveis de produção. As técnicas artesanais serão digitalizadas. Com uma impressora 3D, os objetos poderão ser produzidos nos formatos complexos e elaborados que outrora se encontravam apenas acessíveis a artesãos qualificados. A técnica de impressão 3D de materiais como o metal e a madeira está a tornar as técnicas tradicionais obsoletas.

Por outro lado, a resposta é negativa pois não é inevitável que esta situação conduza a uma maior taxa de desemprego. Em primeiro lugar, a impressão 3D também resultará na criação de novos postos de trabalho, por exemplo na área do design e da produção de hardware (por ex., as impressoras 3D) e, mais importante, na criação do software que permitirá às máquinas executar as várias tarefas que lhes serão exigidas.¹⁸ Além disso, a tecnologia de impressão 3D pode facilmente contribuir para a abertura do mercado global. Ao mesmo tempo, a produção decorrerá cada vez mais a nível local. Assim sendo, o trabalho anteriormente externalizado para países com baixos níveis salariais poderá regressar à Europa. Tal significa que haverá um aumento da procura de

¹⁶ <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.html>

¹⁷ <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.5437/08956308X5606193>

¹⁸ <http://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=http://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2014/09/15/demand-for-3d-printing-skills-is-accelerating-globally/&refURL=https://www.google.nl/&referrer=https://www.google.nl/>

trabalhadores especializados e um declínio da procura de trabalhadores com menos qualificações. Assistir-se-á, assim, a um aumento do fosso entre trabalhadores mais e menos qualificados.

As atuais condições de trabalho serão profundamente alteradas pela utilização predominante de matérias plásticas pela indústria de impressão 3D. É essencial apostar numa boa regulamentação e certificação destes materiais sintéticos. A produção com impressão 3D é dispendiosa e também morosa.

Tal como acontece com outras tecnologias digitais (robôs, inteligência artificial, etc.), as consequências para aqueles que executam essas tarefas rotineiras podem ser profundas. O trabalho pode ser aborrecido e nada criativo, semelhante à sensação de ficar a ver a tinta a secar. Ao mesmo tempo, a técnica de impressão 3D é ainda relativamente complexa e exige um elevado nível de concentração. Os erros são fáceis de cometer e mesmo os mais insignificantes podem resultar em grandes falhas no produto.

Toda esta agitação inovadora tem contribuído para aumentar o fascínio da indústria de impressão 3D. Tal como acontece com muitas start-ups, os trabalhadores têm tendência a dedicar muito do seu tempo a esta tecnologia. De igual modo, nem sempre a linha que separa o trabalho do lazer é nítida. A maioria das empresas que trabalham com impressão 3D é recente e apresenta uma taxa de crescimento acelerado, o que dificulta a sua organização. Com uma equipa variável, a organização entre trabalhadores também se torna difícil. Esta questão suscita algumas preocupações no que respeita ao estabelecimento de salários razoáveis, às horas de trabalho e à higiene e segurança das condições de trabalho.

Abrir um negócio na própria casa

A tecnologia de impressão 3D abre caminho a toda uma nova cadeia informal de produção. Este democrático «movimento de fazedores» permite que as pessoas abram o seu próprio negócio no conforto das suas casas. Tal como Steve Jobs, que era um informático experiente quando fundou a sua empresa na garagem, a maioria das pequenas e recém-formadas empresas de impressão 3D é gerida por semi-profissionais. Juntas, formam uma indústria altamente desorganizada e difícil de regulamentar. Um empreendedor individual na área da impressão 3D pode trabalhar a partir de casa ou de um espaço de trabalho informal (por ex., uma garagem) desadequado a um ambiente profissional. Neste contexto, têm vindo a ser levantadas questões relacionadas com a ergonomia, o ar puro, as horas de trabalho e o equilíbrio entre a vida doméstica e a vida laboral.

Para os trabalhadores por conta própria, a insegurança é, de longe, o maior desafio colocado pela indústria da impressão 3D. Quando qualquer pessoa pode tornar-se produtor de impressões 3D, a concorrência entre *crowdworkers* pode levar a situações de grande tensão. O mercado já revelou tremendas dificuldades em regular o preço destes serviços de impressão 3D. Esta tensão económica é agravada pela ausência de direitos sociais e regulação financeira. Aquilo que parece ser um indústria criativa de primeira linha pode, na realidade, criar um novo proletariado digital. Nesta *economia gig*, designação que lhe é dada nos Estados Unidos, os trabalhadores que imprimem em 3D por conta própria saltam de uma encomenda para outra. O risco de aparecimento de um novo tipo de trabalhadores precários é real. Nem mesmo os fabricantes domésticos que controlam os seus processos de venda e distribuição oferecendo os seus produtos em plataformas online como a Etsy e o eBay estão a salvo. O obsoleto «relógio de ponto» é substituído pela pressão das classificações online. A promessa de uma economia pós-capitalista pode tornar-se uma forma de hipercapitalismo, em que muitas pessoas controlam a produção mas ninguém controla o limite mínimo da segurança social e económica.

Estes novos tipos de pequenas empresas oferecem oportunidades de trabalho dinâmicas mas extremamente precárias. Nesta indústria em rápido desenvolvimento, a inovação de hoje pode tornar-se a obsolescência de amanhã. Nas empresas onde é vaga a separação jurídica entre designer, fabricante e empresário, a responsabilidade em caso de mau funcionamento ou má qualidade não é clara. Esta situação cria incertezas na hora de atribuir responsabilidades. Com todo o tipo de produtos livremente disponíveis através de download (ilegal) a partir da internet, a pirataria

e a violação dos direitos de autor são apenas uma questão de tempo.¹⁹ É necessário regulamentar a atividade e estabelecer contratos de trabalho fiáveis. Além destas questões legais, surgem ainda dilemas de natureza ética. A Liberator Gun é uma arma que pode ser impressa numa impressora 3D desktop após descarregar gratuitamente as instruções de impressão a partir da internet.²⁰



Liberator Gun

Nesta matéria, há que destacar o contributo do «fablab» (a abreviatura de «fabrication laboratory» (laboratório de fabrico)), que é um espaço de trabalho cooperativo com dispositivos digitais e analógicos. O fablab desempenha um papel importante na capacitação dos indivíduos, permitindo-lhes criar dispositivos inteligentes para uso próprio. Este representa, por assim dizer, o elo que faltava entre a impressão 3D caseira para uso pessoal e as novas empresas. Um fablab só abre ao público se estiverem reunidas as condições que permitam documentar o processo de produção. Com mais de 250 fablabs distribuídos por todo o mundo (dos quais mais de 100 na Europa), foi criada uma das maiores bases de dados de código aberto sobre impressão 3D e outras produções digitais. O número de fablabs continua a aumentar. A maioria deles não tem fins lucrativos e oferece serviços gratuitos a particulares, tais como cursos e workshops; o número de fablabs comerciais também tem vindo a aumentar. Uma vez que estes espaços de trabalho funcionam numa base informal, as condições laborais exigidas nem sempre se encontram satisfeitas. Tendo em conta os cuidados necessários à utilização de dispositivos como cortadores a laser e máquinas de fresar computadorizadas, a segurança nestes locais de trabalho deve ser alvo de especial atenção. Além disso, tanto a idade mínima como o limite máximo de horas de trabalho são facilmente contornáveis.



Fablab

19 <https://www.technologysleage.com/2015/09/top-3-legal-issues-of-3d-printing/>

20 <http://www.3ders.org/articles/20151130-what-are-the-legal-aspects-of-3d-printing-a-european-law-firm-weighs-in.html>

Sinais do futuro

As novas inovações terão um impacto profundo na impressão 3D e no ambiente de trabalho. As cinco inovações mais importantes centrar-se-ão nos seguintes setores:

Alimentação

A produção flexível e a liberdade de criação oferecem grandes oportunidades na área da indústria alimentar. Atualmente, a impressão 3D utiliza sobretudo alimentos líquidos, tais como o chocolate e a massa de crepe. Num futuro próximo, a impressão 3D será também utilizada para alimentos não cozinhados, os quais serão posteriormente sujeitos a tratamentos como aquecimento, ou transformados por processos naturais, como a fermentação ou germinação. Nessa fase, levantar-se-ão novos desafios em matéria de higiene, segurança e condições gerais de trabalho (ar puro, ergonomia, etc.).

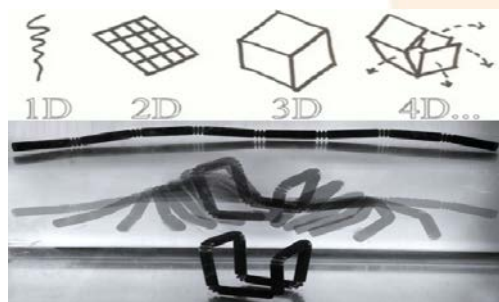


Impressão 3D de alimentos

Impressão 4D e materiais inteligentes

Os materiais inteligentes possuem uma ou mais propriedades que podem ser substancialmente alteradas de forma controlada através de estímulos externos, tais como a temperatura, a força, a luz, a humidade, o pH e os campos elétrico e magnético. Quando fabricados com uma impressora 3D, estes materiais inteligentes podem formar objetos que respondem ao ambiente alterando a sua forma, perceção tátil ou rigidez. Este processo designa-se por impressão 4D, pois os objetos mudam ao longo do tempo. Estas mudanças podem resultar da sensibilidade à luz, à pressão ou à temperatura. Alguns destes materiais podem ter «memória». Isto significa que regressam ao seu formato original perante uma nova alteração das circunstâncias. Muitos destes materiais encontram-se ainda nas primeiras fases de experimentação e são ainda muitas as dúvidas sobre os riscos de saúde e higiene a eles associados. Têm sido feitos apelos à regulamentação da matéria.²¹

Impressão 4D



²¹ <http://journal.georgetown.edu/programmable-matter-4d-printings-promises-and-risks/>

Impressão 4D

Bioimpressão

Designa-se por «bioimpressão» a impressão 3D de tecidos vivos e/ou biológicos. As bioimpressoras produzem células a partir de uma cabeça de bioimpressão que se move da esquerda para a direita, de trás para a frente, de cima para baixo, para colocar as células no preciso local onde são necessárias. Isto permite que um objeto biológico seja construído, ao longo de um certo tempo, em muitas camadas muito finas.²² Além de produzirem células, as bioimpressoras também podem extrudir um gel solúvel para suportar e proteger as células durante ou após a impressão. São já muitas as experiências bem sucedidas de impressão de matérias «vivas» contendo fungos ou algas. Tal como acontece com os materiais inteligentes, esta técnica implica riscos de saúde e higiene. Além disso, levantam-se também questões éticas.²³



Bioimpressão

Nano-impressão

A combinação da impressão 3D com a nanotecnologia permitirá moldar objetos ao nível nano ou molecular. Em teoria, isso significa que, através do fabrico aditivo, será possível produzir qualquer objeto em qualquer tipo de material, forma ou volume. Esta técnica, contudo, ainda é apenas teórica. Não é ainda possível prever o impacto da nano-impressão no ambiente de trabalho.

Conclusões

A impressão 3D terá provavelmente um impacto limitado nas rotinas diárias de segurança do local de trabalho. Os riscos existirão sempre, mas dificilmente surgirão novos riscos relacionados com a segurança física. Afinal, trata-se de uma simples máquina com poucas exigências de envolvimento manual. Além disso, a maioria dos materiais utilizados na impressão 3D é conhecida, tal como os seus efeitos sobre a saúde, quer se trata de emissão de gases, de exposição ou manuseamento de materiais ou ainda de eletricidade estática.

O bem-estar do trabalhador pode, contudo, sofrer um impacto considerável. A tecnologia em causa suscita novos riscos em termos de precariedade laboral, horas de trabalho, responsabilização, monotonia e rotina do trabalho, acompanhamento dos novos desenvolvimentos através da formação e educação e, finalmente, riscos de segurança decorrentes da introdução de maquinaria experimental. É altamente recomendável que a resposta a estas mudanças no ambiente de trabalho seja dada ao nível europeu e não ao nível nacional, uma vez que a impressão 3D se insere nos parâmetros de uma economia global. Este envolvimento deverá manifestar-se em três aspetos:

²² <http://www.explainingthefuture.com/bioprinting.html>

²³ <http://www.computerworld.com/article/2486998/emerging-technology/bio-printing-human-parts-will-spark-ethical--regulatory-debate.html>

1. Acompanhamento e verificação

Que inovações estão para chegar? Com que probabilidade a inovação será implementada numa escala alargada? Encontra-se esta técnica patenteada ou protegida de qualquer outra forma? Quem assume a responsabilidade em caso de mau funcionamento? É possível rastrear os materiais utilizados?

Estas são apenas algumas das questões que surgirão. O acompanhamento das mudanças ao nível da impressão 3D requer um diálogo constante com a indústria. Para tal, nada mais fácil e económico do que criar uma plataforma online que permita a participação de trabalhadores e empregadores. Por outro lado, a vasta rede de fablabs da Europa pode ser utilizada para assegurar o contacto e acompanhamento de indivíduos como o prosumer (consumidor produtor).

2. Regulamentação e certificação

Em resultado da dinâmica e da natureza ascendente e por vezes experimental da impressão 3D, a falta de regulamentação desta técnica é ainda uma realidade. A certificação pode ser um poderoso instrumento. Até à data, a certificação tem-se limitado às empresas de alta tecnologia, muito protetoras das técnicas de produção desenvolvidas com grandes investimentos. Este ambiente de secretismo e patenteação não contribui para a regulamentação em geral da impressão 3D. A regulamentação da tecnologia de impressão 3D no ambiente de trabalho deve ser feita pelas seguintes razões:

▪ **Controlo da qualidade e da segurança**

A impressão 3D é constantemente influenciada pelo desenvolvimento de novas técnicas e materiais. Esta situação suscita riscos de segurança, quer relativamente às impressoras 3D, quer aos produtos fabricados.

▪ **Responsabilidade**

A introdução de novas técnicas e materiais pode conduzir a conflitos de propriedade intelectual e criativa entre empregadores e trabalhadores. Além disso, com a disponibilização de designs (quase) gratuitos online, emergem novos riscos de violação de direitos de autor em caso de mau funcionamento ou má qualidade dos produtos. Poderá ser necessário estabelecer contratos padronizados e obter aconselhamento jurídico.

▪ **Bem-estar dos trabalhadores**

A vertente global e a dinâmica de arranque que rodeia a tecnologia de impressão 3D podem ser um fator de stresse para os trabalhadores, sujeitos a maiores exigências em termos de horas de trabalho, flexibilidade e responsabilidade. Uma vez que a indústria de impressão 3D é maioritariamente constituída por start-ups e novos tipos de microfábricas, a sindicalização tradicional dos trabalhadores é limitada.

▪ **Saúde e segurança**

É possível que advenham riscos para a saúde decorrentes da utilização dos materiais e das emissões por eles produzidas.

▪ **Precariedade laboral**

Numa indústria altamente inovadora, a precariedade laboral pode ser elevada. Este problema pode ser reduzido através da ministração de ações de formação com o objetivo de manter os trabalhadores atualizados.

▪ Envolvimento

O trabalho com maquinaria automatizada, tais como as impressoras 3D, pode ser aborrecido e stressante. A formação pode ter um efeito positivo na motivação dos trabalhadores. Os trabalhadores afetos às impressoras 3D são normalmente relativamente jovens. Os empregadores deverão tomar medidas adicionais que os mantenham motivados, partilhando responsabilidades e oferecendo-lhes condições flexíveis de trabalho.

3. Formação e educação

Apesar dos desafios que se colocam relativamente ao ambiente de trabalho individual, a tecnologia de impressão 3D oferece oportunidades incríveis de promoção da igualdade na generalidade do mercado de trabalho. Vivemos numa sociedade do conhecimento baseada no trabalho em rede e na tecnologia. O fosso entre pessoas com acesso e conhecimentos tecnológicos e aquelas que os não têm tem aumentado. Contudo, com a impressão 3D e o movimento de fazedores subjacente, o acesso ao conhecimento torna-se barato e relativamente fácil através da internet. As mais importantes redes deste movimento são os fablabs. Ao colaborar com os fablabs na oferta de educação e formação, será possível construir uma ponte sobre o «fosso tecnológico», o que resultará num mercado de trabalho mais igualitário. Esta questão é especialmente importante no contexto económico da Europa, onde a individualidade, a abertura e a inovação são metas fundamentais a alcançar.

Outras informações

- *Printing Things. Visions and Essentials for 3D Printing.* Dries Verbruggen (editor). ISBN 9783899555165. Gestalten, 2015
- *Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive.* Lucas Evers & Bas van Abel (editors). ISBN 9789063692599. BIS Publishers, 2011
- *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World.* Jeremy Rifkin. ISBN 9780230341975. St. Martin's Griffin, 2013
- *Fabricated: The New World of 3D Printing.* Hod Lipson & Melba Kurman. . ISBN 9781118350638. Abe Books, 2013
- *Makers: The New Industrial Revolution.* Chris Anderson. ISBN 9780307720962. Crown Business Publishers, 2012
- *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers.* Mark Hatch. . ISBN 9780071821124. MacGraw-Hill Education, 2013
- *3D Printing: The Next Industrial Revolution.* Christopher Barnatt. . ISBN 9781484181768. Create Space Independent Publishers, 2013
- *Postcapitalism: A Guide to our Future.* Paul Mason. ISBN 9781846147388 Allen Lane Publishers, 2011

O presente documento de reflexão baseia-se no resumo de um artigo redigido por Jeroen Junte e integra os contributos da rede de Pontos Focais da agência.

O presente artigo foi encomendado pela Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA). O seu conteúdo, incluindo opiniões e/ou conclusões eventualmente expressas, só responsabilizam o(s) seu(s) autor(es) e não refletem necessariamente os pontos de vista da EU-OSHA.