

CIÊNCIA & TECNOLOGIA DOS MATERIAIS

AR
TI
GOS

DI
VI
SÕES

2019
VOL. 31

Nº1

EDI
TO
RIAL

A
GEN
DA

ATI
VI
DA
DES

E
VEN
TOS

EN
TRE
VIS
TAS

NO
TÍ
CI
AS

REVISTA



SOCIEDADE
PORTUGUESA DE
MATERIAIS



PEQUENOS EQUIPAMENTOS PARA GRANDES TRABALHOS



Os equipamentos Fischer MPOR são projetados para executar trabalhos no mundo da proteção contra corrosão.

- Medições precisas de espessura de filme seco - nenhuma calibração necessária
- Construção robusta no exterior, interior de alta tecnologia
- Fácil de usar, versátil, alcança os pontos mais apertados
- Visor giratório e iluminado para rápida e leitura conveniente dos resultados
- Leve e compacto
- Mede de acordo com as normas, modos especiais para IMO PSPC e SSPC-PA2

www.ultraprecisao.com

Fischer[®]

NOVA ETAPA EDITORIAL!

FICHA TÉCNICA

Director

Jorge Lino

Diretor Adjunto

Luís Gil

Editor Convidado

Paula Vilarinho

Conselho Editorial

Manuela Oliveira

Joana Sousa



Propriedade e Redacção

Sociedade Portuguesa de
Materiais

Paginação e Impressão

RealBase, Lda.



Depósito Legal

Nº 103503/96

ISSN

0870-8312

Tiragem:

400 exemplares



BEM-VINDO!

05 EDITORIAL Nº 1

. Revista Ciência e Tecnologia dos Materiais SPM
Nova Etapa Editorial

07 ARTIGOS

. 30 Anos Revista
 . Os desafios dos novos conceitos de mobilidade
 . Materiais necessários para transição energética via mobilidade elétrica rodoviária
 . Manufatura aditiva: uma perspetiva tecnológica

44 DIVISÕES TÉCNICAS

. DT: Corrosão e Protecção de Materiais
 . DT: Materiais Estruturais
 . DT: Materiais Funcionais
 . DT: Materiais e Energia
 . DT: Engenharia de Superfícies
 . DT: Polímeros e Compósitos
 . J-SPM

64 ENTREVISTAS

. Professor Leopoldo Guimarães
 . Professor Ricardo Bayão Horta

68 ATIVIDADES DE I&DT NACIONAL

. Projetos de I&DT, LNEG
 . ProCoating - Advanced Processes for Coating, IPN

76 EMPRESAS

. Vista Alegre atrai talentos de todo o Mundo

82 NOTÍCIAS E EVENTOS

. Dia mundial dos materiais
 . Materiais 2019
 . VI Encontro Dia Mundial da Sensibilização para a Corrosão
 . Seminário de Fabrico Aditivo
 . SAMmeeting

89 SÓCIOS COLETIVOS E LISTA DE PERITOS**PROTOSCOLOS DE COOPERAÇÃO**

Considerando que a Sociedade Portuguesa de Materiais tem como objetivo estimular a participação ativa de todos os membros da comunidade dos materiais, a ligação entre universidades, centros de investigação, empresas e indústrias e, desta forma, acrescentar valor e abrir novas oportunidades, foram criados protocolos de cooperação com as seguintes entidades:

- Universidade de Aveiro
- Plataforma Tecnológica da Floresta da Universidade de Aveiro
- Centro de Estudos Florestais do Instituto Superior de Agronomia
- Ordem dos Engenheiros
- Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões

Desta forma, a Sociedade Portuguesa de Materiais pretende projetar o que de melhor se faz em Portugal em Ciência e Tecnologia dos Materiais, nomeadamente através da criação de uma rede de interlocutores propícia ao intercâmbio de experiências e conhecimento.

Existem outros protocolos em negociação e estamos receptivos a cooperar e a desenvolver acções conjuntas.

SE PRETENDE CELEBRAR UM PROTOCOLO DE COOPERAÇÃO COM A SOCIEDADE PORTUGUESA DE MATERIAIS, CONTACTE-NOS.

www.spmateriais.pt
comunicacao@spmateriais.pt

REVISTA CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS DA SPM

NOVA ETAPA EDITORIAL

A Sociedade Portuguesa de Materiais (SPM), é uma associação cultural, de índole técnica e científica, sem fins lucrativos, constituída no dia 5 de junho de 1981, e que tem como objetivo promover, de forma independente, o conhecimento na área dos materiais e relevar a sua importância no desenvolvimento económico e social, congregando as partes interessadas.

Para consecução dos seus objetivos, a **SPM** promove diversas ações para estimular a formação e a especialização técnico-científica, apoia as iniciativas de investigação e divulgação científica das suas Divisões Técnicas, e realiza congressos, conferências, seminários, cursos, reuniões e visitas técnicas. A **SPM** assegura ainda o contacto com organismos e associações congéneres, nacionais e estrangeiras, estimulando e desenvolvendo o intercâmbio entre especialistas, e promove diferentes ações visando a seleção de materiais e processos, troca de informações e apoio técnico. Pode-se ainda destacar a atribuição de prémios, designadamente o prémio bienal de Carreira e Reconhecimento, o prémio melhor tese de mestrado Dia Mundial dos Materiais e *Federation of the European Materials Societies (FEMS) master thesis awards*, entre outros que visam estimular o desenvolvimento e reconhecimento de profissionais, investigadores e estudantes, que atuam na área dos materiais

Para divulgação das atividades que realiza, a **SPM** tem uma página web que tem vindo a registar um crescimento de consultas notável, participa em várias redes sociais, publica uma *newsletter* e a sua Revista *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, que tem uma história que se deve recordar, para melhor enquadrar esta nova etapa editorial (ver artigo 30 anos da revista da **SPM**).

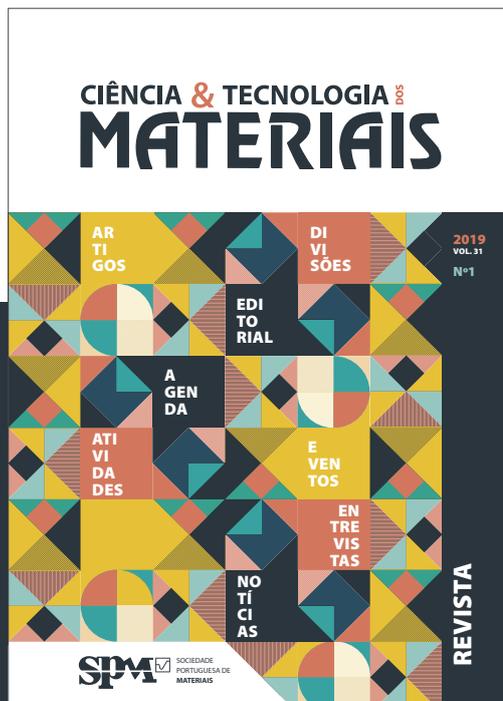
Passados 31 anos da primeira edição da Revista Ciência e Tecnologia dos Materiais da SPM, inicia-se então uma nova etapa editorial.

No atual contexto de globalização e numa crescente sociedade baseada na informação, a atual Direção da **SPM**, em conjunto com os seus sócios, identificou uma lacuna no espaço editorial nacional na área de ciência e tecnologia de materiais. Decidiu assim, renovar o seu portefólio de publicações e orientar a sua publicação *Ciência & Tecnologia dos Materiais* para a área técnica, de interesse para os sócios coletivos e indústria em geral.

A partir de agora, os sócios da **SPM** têm condições especiais de publicação dos seus artigos científicos em Acesso Aberto em duas revistas científicas de interesse para a nossa comunidade, a *Materials*, com factor de impacto a 5 anos de 3.532 (2018) e a *Metals*, com factor de impacto a 5 anos de 2.371 (2018), bem como a publicação na Revista *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, de artigos de cariz técnico.

A Revista Ciência e Tecnologia dos Materiais da SPM tem agora um novo corpo editorial fixo, e editores convidados para cada número temático, dedicado a assuntos de interesse da atualidade na área de Materiais e suas tecnologias de processamento. Paula Vilarinho é o editor convidado deste primeiro número, sob a temática atualmente relevante da sustentabilidade. Para além de um artigo sobre os 30 anos





da revista e a reestruturação das Divisões Técnicas da SPM, assina também um artigo sobre Manufatura Aditiva.

Este primeiro número da revista é composto por três artigos científicos; uma reportagem acerca da inovação em curso na área da cerâmica tradicional na empresa Vista Alegre, nomeadamente a nível do design de produto; uma reportagem com os Professores Doutores Leopoldo Guimarães e Ricardo Bayão Horta, a quem foi atribuído o mais recente prémio bienal de Carreira e Reconhecimento da SPM (edição 2019); trabalho que tem vindo a ser desenvolvido pelas Divisões Técnicas da SPM após a sua reorganização; divulgação de trabalho de investigação em unidades de interface do sistema nacional de investigação e desenvolvimento, neste caso no Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) e Instituto Pedro Nunes (IPN); e finalmente informações diversas acerca de eventos recentes, e atividades futuras a realizar com o apoio da SPM.

Esperamos com este primeiro número incentivar a comunidade, que de uma maneira ou de outra, desenvolve atividades na área, a juntar-se a nós e a divulgar as suas atividades, de forma a contribuir para engrandecer a área de Materiais.

Agradeço ao atual corpo diretivo da SPM a confiança que depositou em mim, no Luís Gil, na Manuela Oliveira e na Joana Sousa para juntos iniciarmos com grande dedicação e comprometimento com a SPM esta nova etapa editorial.

Jorge Lino Alves



Desde a fundação em 1981, a SPM considera as suas publicações como um meio essencial de comunicação com os sócios e com a sociedade em geral, sendo um dos veículos de implementação da sua missão.

A SPM deu início à publicação do *Boletim Informativo* logo após a sua constituição, tendo o volume 1 sido editado em 1982 (Fig. 1).

Ao fim de seis anos e de sete volumes encerra-se a publicação do *Boletim* e inicia-se a publicação de uma revista técnica - científica, *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, que se torna a revista oficial da SPM. A primeira série da *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, dirigida pela Engenheira Antera de Seabra, do LNEG, inicia-se em 1989 (Fig. 2) e vai até 1992.

Em 1994 inicia-se a segunda série (Fig. 3), que vai até 2012, dirigida pelo Prof. César Sequeira, do IST.

Em 2012 a *Ciência & Tecnologia dos Materiais* é aceite na plataforma *Scopus* e indexada no *Chemical Abstracts*. De 2013 a 2018 a revista passa a ser editada pela *Elsevier* (Fig.4) e os seus artigos ficam disponíveis na plataforma *Science Direct*. Durante este período, a revista é dirigida pelo Doutor Diogo Santos, do IST (Editor in Chief) e pelo Doutor Luís Amaral, também do IST (Associate Editor).



Fig. 1 Boletim informativo da SPM



Fig. 2 Revista (1ª série)

É em 2013 que o nome e logotipo da *Ciência & Tecnologia dos Materiais* se registam no INPI e em 2017 que se regista a designação em inglês, *Science and Technology of Materials*.

Em 2017 a *Science and Technology of Materials* é aceite para indexação no Emerging Sources Citation Index. Em 2018 a atual Direção da **SPM** lança um inquérito aos sócios sobre a importância, interesse e futuro das publicações da **SPM**.

Estas evoluções foram sendo ditadas pela necessidade de melhor servir os sócios da **SPM** e a comunidade de Materiais em geral e de acompanhar os próprios desenvolvimentos das publicações técnico – científicas.

No atual quadro de um mundo global e com novos e importantes atores tecnológicos e científicos, assistiu-se nos últimos anos a um crescimento exponencial de revistas, jornais e boletins técnico-científicos. É ainda neste quadro e, provavelmente como resposta aos malefícios da massificação das publicações científicas (mais de um milhão de artigos científicos por ano), que se assiste ao aparecimento do conceito de Acesso Aberto (*Open Access*) e, mais recentemente, ao de Ciência Aberta (*Open Science*). Assim, e de acordo com o novo Plano S”, após 1 de Janeiro de 2020 resultados técnico – científicos financiados por fundos públicos nacionais ou europeus, devem ser obrigatoriamente publicados em publicações ou plataformas de acesso aberto ...”.

É precisamente neste contexto de progressão, para colmatar uma lacuna no espaço editorial nacional na área de ciência e tecnologia de materiais e em resposta ao recente inquérito, que em 2019 iniciamos uma nova etapa editorial.

Por acordo estabelecido com a editora MDPI, os sócios da **SPM** terão a partir de agora condições especiais de publicação dos seus artigos em Acesso Aberto em duas revistas científicas de interesse para a nossa comunidade, a *Materials*, com factor de impacto a 5 anos de 3.532 (2018) e a *Metals*, com factor de impacto a 5 anos de 2.371 (2018). Desta forma a **SPM** responde aos interesses dos seus sócios, associando as suas publicações a revistas com factor de impacto e de Acesso Aberto.

Por outro lado, a *Science and Technology of*

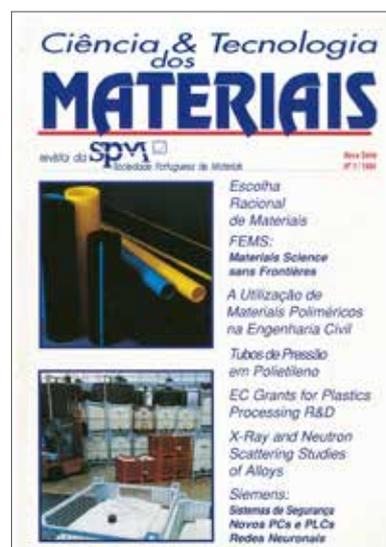


Fig. 3 Revista (2ª série)



Fig. 4 Revista editada pela Elsevier

Materials, cujo contrato de publicação com a Elsevier foi terminado, será, a partir de agora, *Ciência & Tecnologia dos Materiais* (*Science and Technology of Materials*), com um novo corpo editorial, dedicada a artigos de cariz técnico na área de materiais, colmatando a lacuna existente de publicações técnicas de interesse para os sócios coletivos e indústria em geral.

A SPM congratula-se assim por mais um progresso relevante na vida das suas publicações e da SPM em geral.

A atual Direção da **SPM** assiste hoje ao lançamento do primeiro número da revista da **SPM**, *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, no seu novo formato, que espera seja mais um dos seus veículos para congrega a comunidade e permitir que a SPM seja cada vez mais a Voz dos Materiais em Portugal.

A Presidente da SPM
Paula M. Vilarinho

OS DESAFIOS DOS NOVOS CONCEITOS DE MOBILIDADE: ENERGIAS RENOVÁVEIS E MATERIAIS ASSOCIADOS

JOÃO MASCARENHAS¹;
CARLOS NOGUEIRA¹;
LUÍS GIL²

¹ Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Energia e Geologia

² Coordenador da Divisão de Materiais e Energia da Sociedade Portuguesa de Materiais

RESUMO

Os novos conceitos de mobilidade, que passam pela introdução de novos veículos não poluentes na fase de uso, incorporando várias tecnologias avançadas, e integrando uma rede elétrica baseada em energias renováveis, serão uma certeza no nosso futuro próximo. A introdução de veículos elétricos/híbridos e de outras opções como os veículos a células de combustível, associadas a conceitos de mobilidade como o *car-sharing* e o veículo autónomo, terão decerto um incremento súbito a muito curto prazo. Nesta mudança, os materiais e as tecnologias para a sua extração e transformação, com vista à melhoria da sua funcionalidade, têm enormes desafios e desempenham um papel fundamental em todo o processo de mudança. As implicações sociais e económicas não são também de menor importância.

Palavras-Chave: mobilidade urbana, energias renováveis, veículos elétricos, baterias, células de combustível, materiais críticos

1. INTRODUÇÃO

Os desafios da mobilidade nas cidades contemporâneas têm feito surgir novos conceitos para resolver sobretudo a poluição e o congestionamento, conduzindo ao desenvolvimento de novas tecnologias e com elas a necessidade de novos materiais bem como o uso racional e armazenamento da energia. A mobilidade de pessoas e mercadorias numa sociedade sustentável necessita de sistemas de transporte sustentáveis a longo prazo, assim como de alterações de fatores sociais e políticos, não sendo consequentemente uma questão única e simples.

A estrutura da maioria das cidades a uma escala planetária baseia-se em planeamentos de séculos passados. As urbanizações pós era industrial levaram a que os aglomerados urbanos surgissem como nós em redes de fluxos de tráfego, e a deslocalização das pessoas dos grandes centros para as áreas periféricas metropolitanas originou um enorme fluxo pendular diário. Qualquer solução deverá obrigatoriamente possuir informação e dados sólidos para a identificação de problemas e prioridades concernentes a tendências demográficas e socioeconómicas, questões ambientais, questões económicas, capacidade das infraestruturas de transporte existentes, padrões de deslocação, interligação das redes existentes, pontos de vista dos intervenientes e soluções inovadoras e sustentáveis que possam romper com as abordagens realizadas até ao presente.

Dados das Nações Unidas [1] estimam que em 2016, 54.5 % da população mundial vivia em aglomerados urbanos, passando esse número a ser de cerca de 60% em 2030, vivendo uma em cada três pessoas numa cidade com pelo menos meio milhão de habitantes. Os mesmos dados apontam para que em 1800 não existisse nenhuma cidade com mais de 1 milhão de habitantes à escala planetária, passando esse número a ser de 50 em 1950, 512 em 2016 e, previsivelmente, 662 em 2030. Destas últimas, 63 terão entre 5 e 10 milhões de habitantes. Em paralelo, espera-se que as vendas de automóveis aumentem de cerca de 70 milhões em 2010 para 125 milhões em 2025, prevendo-se que mais de 50% seja comprado para uso cidadão [2].

Alguns analistas preveem que seguindo a trajetória atual, a frota automóvel global possa duplicar por volta de 2030.

As infraestruturas citadinas atuais já não conseguem, na sua maioria, suportar tais aumentos do número de veículos. Algumas cidades apresentam atualmente níveis insuportáveis de congestionamento do tráfego automóvel, cujos custos podem variar entre 2 a 4 % do PIB nacional em perdas de tempo, consumo de combustível e outros constrangimentos daí inerentes [3].

A Organização Mundial de Saúde estimou em 2014 que sete milhões de mortes prematuras foram atribuídas à poluição atmosférica, na qual uma contribuição significativa se deve ao trânsito urbano [4]. O sector dos transportes é responsável por aproximadamente 14% das emissões dos gases de efeito de estufa, mas esse valor estava projetado (em 2017) aumentar em 50% até 2030 e por isso a transformação do sector dos transportes é essencial [5].

Mas o futuro não tem de ser assim, tornando-se ainda mais evidente a necessidade de implementação de agendas de desenvolvimento sustentável em todos os campos críticos anteriormente referenciados, sobretudo a poluição, o tráfego automóvel e a energia.

As soluções mais apontadas passam por esforços coordenados tanto nos setores público como privado, abrangendo a mobilidade urbana, serviços multimodais, comportando carros convencionais, autocarros, bicicletas, peões e comboios, assim como os novos serviços de transportes partilhados e os carros elétricos ou a célula de combustível e autónomos. As cidades que melhor conseguirem conjugar estes vários vetores serão as que terão melhor qualidade de vida para os seus cidadãos. Algumas cidades estão inclusivamente a desenvolver programas de mobilidade *on-demand* de forma a tornar os carros particulares desnecessários já a partir de 2025 [3]. A revolução da mobilidade urbana está a começar!

2. MOBILIDADE: OPÇÕES E TECNOLOGIAS

2.1 Tecnologia a bordo

A utilização de *apps* em telemóveis ou sistemas incluídos nos próprios veículos abrem um sem número de possibilidades de captação, análise e partilha de dados de trânsito. Esta partilha pode ser realizada

quer entre veículos quer ao nível de um sistema central, de forma a permitir ao condutor (ou ao veículo autónomo) decidir percursos alternativos ou alteração de horário de deslocação, de forma a evitar acidentes e congestionamentos. Assim, o *software* será um excelente auxiliar nestas soluções. Com estes desenvolvimentos, o papel dos materiais para os vários componentes tem sido fundamental.

2.2 Veículos Elétricos/ Híbridos

Ao contrário do que se possa pensar, a tecnologia base dos veículos elétricos não é recente. Os primeiros veículos elétricos experimentais surgiram em meados dos anos 30 do século XVIII [6]. Por exemplo, em 1893 na Exposição Mundial de Chicago, foram apresentados seis tipos de veículos elétricos [6]. Mais recentemente já nos anos 90 do século passado, a Califórnia introduziu os primeiros regulamentos relacionados com emissões zero, o que deflagrou as novas iniciativas no desenvolvimento deste tipo de veículos [6].



Os veículos elétricos emitem significativamente menos gases de efeito estufa ao longo de suas vidas (incluindo o seu ciclo de fabrico) do que os motores a combustão, mesmo que a eletricidade que os move seja obtida através das mais poluentes formas de geração. É de referir aqui um estudo encomendado pelo *think tank* T&E que revela que no total do seu ciclo de vida (produção do veículo, baterias, geração de energia elétrica consumida, mesmo que de fontes não renováveis), os veículos elétricos emitem em média menos 50% de gases de efeito estufa que os diesel. Por exemplo, para a Suécia que tem uma das redes de energia mais "limpas" da Europa, as emissões reduzir-se-iam até 85% [7]. Assim, se a rede elétrica for alimentada maioritariamente a partir de fontes renováveis, como desejável, a pegada ecológica dos VEs será ainda muito

menor.

Para além da contribuição para a diminuição das emissões poluentes, os VEs contribuem também para aumentar a eficiência energética. Por outro lado, uma queda do preço das baterias superior ao que era previsto, devido ao fator escala ou ao uso de novos materiais pode pesar ainda mais a favor do VE quer a médio ou longo prazo.

Estudos de mercado [3] apontam para que as vendas anuais de veículos elétricos (VE) e híbridos aumentem de cerca de 2.3 milhões de unidades em 2014 para 11.5 milhões em 2022, ou cerca de 11% do mercado global. Atualmente apenas cerca de 1,7% dos veículos novos vendidos na Europa são elétricos [7]. Recentes desenvolvimentos na área dos materiais para baterias têm levado a que as mesmas se tornem mais eficientes, mais económicas e que os tempos de carregamento sejam cada vez mais curtos. Outro fator a favor dos VEs é o custo da manutenção, muito inferior ao dos veículos de combustão. Para além disso, os desenvolvimentos que os vários construtores estão a realizar levarão certamente a um decréscimo nos custos de manutenção do VE. Estes fatores, aliados às políticas nacionais e dos construtores automóveis já em vigor (ou a entrar brevemente em vigor) em alguns países, levará a um aumento efetivo do número de VEs, sobretudo em meio urbano.

Alguns exemplos:

- a)** a Noruega vai proibir a venda de carros movidos a gasolina e gasóleo até 2025 [8];
- b)** a Alemanha vai banir carros a combustíveis de hidrocarbonetos a partir de 2030 [9];
- c)** o fim dos motores de combustão foi marcado para 2040 no Reino Unido [10];
- d)** a França promete o fim da venda de viaturas a gasolina e diesel a partir de 2040 [11];
- e)** a Volvo anuncia que a partir de 2019 todos os novos modelos serão elétricos ou híbridos, prevendo a venda de pelo menos 1 milhão de VEs antes de 2025 [12];
- f)** a Toyota pensa poder vender em cada ano, a partir de 2020, 1.5 milhões de veículos híbridos, acabando em 2050 o fabrico de motores a combustão tradicionais [13];
- g)** várias são as cidades europeias (incluindo Paris e Madrid) que até 2025 irão proibir a circulação de veículos a gasóleo [14].

Além dos veículos de passageiros oriundos de diversos construtores que

são já do conhecimento geral, foi também apresentado pela *Tesla* no final de 2017 o novo camião semirreboque elétrico, com custos de consumo 20% abaixo dos camiões diesel, e com desempenhos excepcionais em estrada.

Porém, para além dos VE é necessário criar também uma infraestrutura de apoio/carregamento. Por exemplo, na China, existiam em 2017 156 000 postos de carregamento, mas está previsto que esse número atinja 4,8 milhões em 2020 [15].

No caso português ainda não se sabe o que acontecerá, podendo estar a decisão remetida para depois da conclusão do roteiro para a neutralidade carbónica, uma meta que Portugal pretende atingir em 2050.

Entrando agora num campo mais técnico, refira-se que os veículos elétricos (VEs), podem ser divididos em quatro tipos: veículo elétrico híbrido *plug-in* (PHVE); veículos elétricos de alcance ampliado (REVE); veículos elétricos a bateria (BVE); e veículos elétricos de célula de combustível (FCVE).

Os veículos elétricos e híbridos utilizam principalmente tecnologia de motor síncrono de ímã permanente (PSM) e, portanto, a procura por neodímio usado na produção do ímã (NdFeB) deverá ter um aumento acentuado nos próximos anos. Os ímãs NdFeB também são cada vez mais usados em bicicletas elétricas. A quantidade de NdFeB usada por e-bike é cerca de 1/5 daquele num motor VE (cerca de 0,3 kg a 0,35 kg NdFeB por e-bike), com mais de 40 milhões de e-bicicletas vendidas em todo o mundo em 2013 [16].

Apesar de tudo isto, vários obstáculos têm que ser ultrapassados antes dos VEs serem amplamente adotados [5].

2.3 Baterias e Veículos Elétricos

As baterias de tração são consideradas o componente determinante dos VEs, tanto pelo custo como pelo desempenho. Um estudo recente [17] veio demonstrar que a queda dos custos de produção e venda de baterias tem vindo a ser superior ao que tem sido antecipado. Desde 2010, o preço baixou cerca de 80%, de 1000 US\$/kWh para 227 US\$/kWh.

O mesmo estudo prevê que o custo de

produção vá continuar a baixar e atingir os US\$190/kWh até 2020 e menos de US\$100/kWh até 2030. Assim, estes preços irão permitir atingir a paridade de custo entre os carros de combustão interna e os equivalentes elétricos já na próxima década.

Contudo, nem todos os produtores de baterias estão a evoluir ao mesmo ritmo. A Tesla está a conseguir baixar os preços mais rapidamente uma vez que terá conseguido bater a barreira dos US\$200/kWh em 2016 e deverá conseguir custos abaixo dos US\$100/kWh até 2020, 10 anos antes da previsão da *McKinsey & Company*.

Também a Nissan tem previsões um pouco mais otimistas que a *McKinsey*. Em novembro de 2011, Ponz Pandikuthira, líder do planeamento de produto na Nissan Europe, previa «que em 2023 os custos das baterias vão baixar ao ponto em que a produção de um veículo elétrico do grupo C vai ter um custo semelhante à produção de um veículo equivalente com motor de combustão interna (MCI)», acrescentando «a partir desse ponto, a tendência será que os veículos elétricos passem a ser cada vez mais económicos de produzir que os veículos de combustão interna».

Refira-se também que a China tem apostado imenso na tecnologia do lítio para as baterias. De tal forma que se prevê que a sua capacidade de produção deste tipo de baterias para 2020 para mais de 4 milhões [15], correspondendo em 2021 a mais de 65% do mercado.

2.4 Energia Fotovoltaica e Veículos Elétricos

Os sistemas de painéis solares fotovoltaicos (PV) instalados até agora em alguns dos modelos de VEs não produzem energia suficiente para alimentar a operação total do veículo. Para tal, e com a eficiência atual das células fotovoltaicas, seriam necessários cerca de 200 m² de painéis solares para fornecerem a energia necessária ao funcionamento do VE. Os painéis instalados até agora nos VEs servem para assistir a carga das baterias, ou fornecerem energia para alguns dos sistemas periféricos. Contudo, algumas marcas referem que os painéis PV atualmente instalados nos seus VEs fornecem energia que permite realizar 5 km por dia, o que, não solucionando a questão da autonomia dos VEs, dará cerca de 1800 km de autonomia adicional por ano [18]. Duas hipóteses parecem imediatas a

partir daqui: ou se aumenta a superfície de painéis solares nos veículos, ou se utilizam materiais com eficiência superior. As células até agora utilizadas são de materiais como o silício, com eficiências rondando os 20%. Células solares PV de superior rendimento são mais caras, como é o caso das células de junção quádrupla e fabricadas por *Soitec & Fraunhofer Institute*, que têm eficiências de 46%, sendo utilizadas pela NASA [19]. Por outro lado, existe sempre a questão do armazenamento da energia nos veículos.

2.5 Veículos a Hidrogénio – Células de Combustível

Parecendo durante algum tempo que a aposta nos veículos com células de combustível tinha deixado de estar no centro dos desenvolvimentos da indústria automóvel, nos últimos meses tem-se assistido a constantes anúncios de algumas marcas apresentando os seus modelos [20]. É o caso da *Toyota* que anunciou recentemente que a sua produção de veículos a pilha de combustível vai oferecer uma grande capacidade de potência elétrica, que será aplicada diretamente aos motores colocados em cada roda, proporcionando ainda uma autonomia para cerca de 1000 km [21]. Refira-se que o vetor hidrogénio tem sido cada vez mais considerado no domínio do armazenamento de energia podendo-se aproveitar os excessos de produção de energia elétrica em horários *off-peak*. Na **Figura 1** mostra-se esquematicamente o funcionamento de uma célula de combustível.

Refira-se ainda que de acordo com uma informação da *Newsletter* de dezembro de 2017 da associação AP2H2 – Associação Portuguesa para a Promoção do Hidrogénio,

foram já desenvolvidos veículos híbridos a eletricidade e hidrogénio, em que foi duplicada a sua autonomia para 1000 km.

2.6 Car Sharing

O facto de a utilização efetiva da maioria dos veículos ser de apenas 10%, os serviços de *car-sharing* poderão alterar esta realidade, contribuindo simultaneamente para a redução do número de veículos nas estradas [3]. De facto, estudos do MIT SENSEable City Laboratory [22] mostraram que ao combinar a partilha de carro com a partilha de viagens, será possível levar cada passageiro ao seu destino no momento necessário, com 80% menos carros. O impacto do *car-sharing* na propriedade de veículos particulares está ainda a ser estudado. Por outro lado, sendo utilizado mais intensamente, cada veículo poderá apresentar um aumento dos custos de manutenção. Esta poderá ser mais uma oportunidade para os VEs, dado que como é sabido, têm um custo de manutenção inferior aos dos veículos com motor de combustão. Se a esta questão se juntar ainda o facto de poderem ser utilizados veículos autónomos (ver ponto seguinte), e extrapolando o que atrás se disse, poderá haver economias de 30 a 60% relativamente ao veículo de propriedade individual [3].

2.7 Veículos Autónomos

As vantagens de um veículo autónomo (VA) ou de um veículo elétrico autónomo (VEA) em ambiente urbano parecem ser diversas, estando a segurança em primeiro plano [23]. Estes veículos possuem sensores que incluem sistemas de visão, radares, detetores de luz e *software* capaz de detetar peões, ciclistas, veículos, animais, obras,

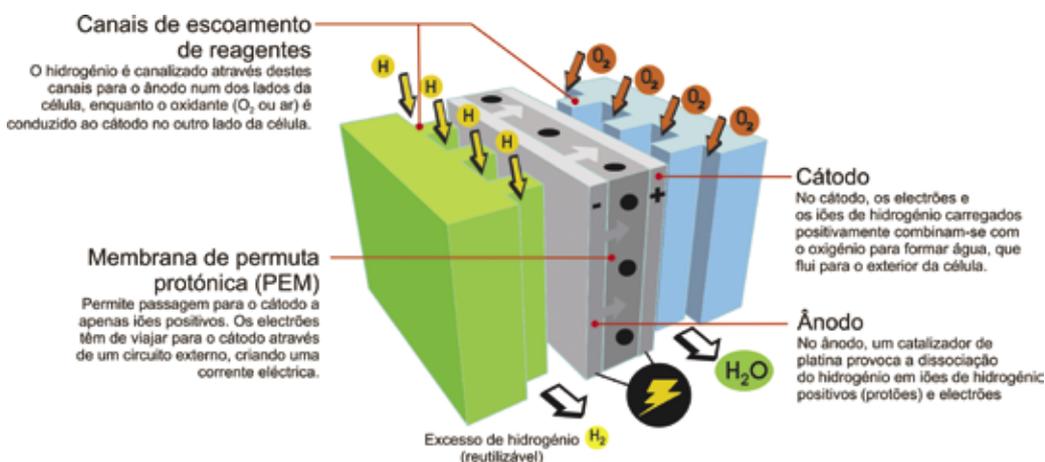


Figura 1 – Esquema de uma célula de combustível

sinais de trânsito, semáforos e muito mais, numa distância de cerca de 200 metros em todas as direções (inclusivamente objetos e veículos que fisicamente são “invisíveis” para o olho humano). A sofisticação dos seus sistemas de navegação não apenas permite uma libertação do passageiro das funções de condução, como ainda lhe permite usufruir do tempo de viagem de uma forma mais eficaz. Os radares são os componentes mais caros dos veículos autónomos (1 radar > US\$ 75.000, fonte Waymo, 2017 [24]), sendo esta uma das razões que leva muitos especialistas a considerarem que este tipo de veículo será inicialmente demasiado dispendioso para o consumidor individual. Em vez disso, tem sido considerada a hipótese de serem lançados como um serviço, muito antes de estarem disponíveis para compra individual. Contudo, a questão da regulação torna até agora difícil qualquer previsão ao nível da sua entrada no mercado. De facto, a maior barreira para os VAs poderem ser adotados mais rapidamente parece não ser de carácter tecnológico, mas sim de dificuldades de harmonização e definição de regulamentações ao nível local, nacional e mesmo internacional [3].



Existe uma previsão de que cerca de 2030 nos Estados Unidos da América 95% dos quilómetros realizados por utilizadores individuais sejam efetuados em VEs autónomos *on-demand* pertencentes a frotas, num novo modelo de negócio chamado *Transport-as-a-Service (TaaS)*. O ponto de rotura está a ser apontado por alguns especialistas como ocorrendo em 2021 [25,26], altura em que haverá aprovação para a utilização generalizada dos VAs. Do ponto de vista do consumidor existem alguns fatores que podem levar a uma menor aceitação inicial deste tipo de serviço, em relação ao veículo de propriedade individual [25], a saber: a personalização, o status social, a paixão da condução e o medo dos veículos autónomos. Por outro lado, a favor do TaaS poder-se-á referir o menor custo, rapidez de viagem,

conveniência, tempo livre e a segurança, sendo fatores neutros a disponibilidade, o conforto e o desempenho. Contudo, com o tempo, e sendo de ordem social a maior oposição à utilização do TaaS, todos os fatores se deverão tornar mais favoráveis a este serviço. De facto, as empresas pré-TaaS como a Uber, Lyft e Didi, têm investido milhões de dólares no desenvolvimento de tecnologias e serviços no sentido de contrariar os receios dos utilizadores. Em 2016, estas empresas transportaram 500 mil passageiros por dia, só na cidade de Nova York, sendo este número o triplo do ano anterior [27]. Uma adoção pelos serviços TaaS não requer nenhum investimento e o custo de utilização é incomparavelmente mais baixo que o da posse de um veículo próprio. O custo parece ser o fator mais importante na escolha do consumidor, depois de ultrapassadas as questões de ordem social. Assim, o diferencial de custo entre a posse de um carro particular e a utilização do TaaS (previsivelmente de cerca de US\$6.000/ano a favor do TaaS [28]) irá substituir todos os outros fatores que afetam a escolha do consumidor e garantir que o TaaS será adotado onde e quando estiver disponível.

Além das vantagens específicas da estrutura de custos, há algo mais quando são reduzidos não apenas os custos de manutenção, mas também o tempo de inatividade/paragem não programado, permitindo assim uma alta disponibilidade dos veículos, isto devido também ao facto do risco de acidente descer 99%, parecendo assim que as vantagens são inequívocas para o TaaS. Mas uma das questões mais relevantes é a de que os veículos se tornarão numa espécie de “servidores”, podendo ser monitorados e controlados digitalmente com enorme precisão, tornando assim a preparação e o erro humano menos importantes [25].

Assim, a adoção de serviços TaaS irá com certeza contribuir para o ganho da qualidade de vida através de uma mobilidade melhorada, trazendo vantagens ao nível de ganhos com a liderança tecnológica, ganhos de produtividade, economia de gastos do consumidor, vantagem para aqueles que por uma qualquer razão não podem conduzir, para aqueles que não podem pagar o acesso a determinados transportes, um ar mais limpo, menos fatalidades na estrada e uma maior capacidade dos governos atingirem os seus objetivos no âmbito do combate às mudanças climáticas.

3. MATERIAIS: CONSTRANGIMENTOS E OPORTUNIDADES

Com o advento dos VEs, as previsões apontam para que a importância geopolítica do petróleo diminua grandemente ao longo das próximas décadas. No entanto, a velocidade e a escala do colapso nas receitas do petróleo podem levar à desestabilização dos países produtores de petróleo assim como de regiões com alta dependência de rendimentos do petróleo. Isso pode criar uma nova categoria de riscos geopolíticos. Prevendo esta questão, existem países do mundo árabe que têm vindo a apostar nas energias renováveis, sobretudo na produção de energia PV e solar de concentração (CSP), aproveitando as vastas áreas desérticas e a elevada incidência solar.

No entanto, o caminho para um paraíso de veículos de emissão zero tem solavancos e luzes vermelhas que ameaçam retardar seriamente o progresso do carro elétrico. Os fabricantes de baterias estão preocupados em garantir o abastecimento de ingredientes-chave nestes grandes pacotes de energia - principalmente cobalto e lítio. As esperanças dos fabricantes de baterias e veículos elétricos dependem do setor de mineração encontrar mais depósitos desses minerais estratégicos.

No caso dos VEs, outras matérias-primas se tornam cruciais (Tabela A [29]), e algumas delas com disponibilidade muito duvidosa. Exemplo disso são os elementos de terras raras, utilizados na maioria dos motores dos VEs. No caso das baterias, o lítio é o elemento mais importante, face à tecnologia que as suporta: as baterias de íões Li. Embora não sendo o elemento mais crítico que constitui os elétrodos, no que respeita ao preço e ao grau de criticidade (relacionado com a escassez e/ou outros fatores que afetam a disponibilidade), o lítio é, contudo, um metal fundamental do ponto de vista do funcionamento químico das células, assumindo uma importância estratégica. A aplicação de modelos de economia circular, incluindo a reciclagem em fim-de-vida, será de capital importância. Fontes da UE questionam se a Europa tem acesso a lítio suficiente para criar uma participação de mercado de 5 a 10% para carros elétricos num horizonte próximo, face aos atuais 1,7% [30].

A grafite é outro material crítico utilizado como suporte condutor dos elétrodos

das baterias. A China é responsável pelo fornecimento de cerca de 70% desta matéria-prima [31].

Outro constrangimento é o fornecimento de cobalto. Enquanto os cátodos de lítio são usados em baterias que alimentam uma ampla gama de produtos, a utilização de óxido de lítio-cobalto mais comum é encontrada em produtos eletrônicos de consumo, pois oferece uma vida útil mais longa e melhor densidade de energia. Cerca de 60% do fornecimento global vem da República Democrática do Congo (RDC), onde a produção de cobalto caiu em 2017 devido à situação política instável. Isso provocou um enorme salto no preço do cobalto em aproximadamente um ano, que passou de cerca de 40.000 para mais de 80.000 US\$/t [32].

Macquarie Research [33] prevê que o problema na RDC e a crescente procura por veículos elétricos levará a uma falta de cobalto nos mercados em quatro anos. Escrevendo no jornal académico *The Conversation*, Ben McLellan, investigador sénior da Universidade de Kyoto, alertou ainda mais para o facto de que o fornecimento de um dos principais componentes minerais, ou a infraestrutura de processamento e refinação, estar centralizado num único país. Sem várias opções de fornecimento, a possibilidade de restrição de oferta torna-se mais provável. Dois fabricantes de baterias sul-coreanas - Samsung SDI e LG Chem - responderam à crise intensificando o desenvolvimento de novos conjuntos de energia que usam mais níquel e menos cobalto.

Para além dos materiais das baterias, muitas outras matérias-primas consideradas críticas ou estratégicas são utilizadas em vários componentes dos veículos elétricos [34]. Os motores de tração elétricos são habitualmente equipados com ímãs (magnetos permanentes) de terras raras (contendo neodímio, praseodímio e disprósio).

Se todos os 550 000 VEs (BEV e PHEV) vendidos em todo o mundo em 2015 tivessem sido produzidos com ímãs NdFeB, cerca de 825 toneladas de NdFeB (representando 1% da produção global de NdFeB em 2015) teriam sido necessárias. Isso corresponde a cerca de 200 toneladas de neodímio, 60 toneladas de disprósio e 50 toneladas de praseodímio necessárias para satisfazer o mercado de VE somente em 2015. Para atingir o objetivo de implantação global de 7,2 milhões de vendas de VEs em

2020 (Agência Internacional de Energia), a procura anual de ímãs NdFeB no setor de VE terá que aumentar em até 14 vezes de 2015 a 2020. A China produz mais de 90% das terras raras necessárias à produção dos magnetos dos veículos elétricos [16].

Um estudo de 2016 (vento, PV e transportes) mostra que, a nível da UE, poderá haver problemas de resiliência com potenciais estrangulamentos no fornecimento de alguns materiais (por exemplo) [35]:

- a) Baixa resiliência no caso das terras raras - neodímio (Nd), praseodímio (Pr) e disprósio (Dy) - usado em tecnologias de veículos elétricos e em geradores eólicos, bem como para grafite (C) (baterias recarregáveis em veículos elétricos).
- b) Problemas de oferta moderados para índio (In), prata (Ag) e silício (Si) na tecnologia fotovoltaica, bem como cobalto (Co) e lítio (Li) em veículos elétricos.

Os diferentes modelos de veículos podem ter diferentes requisitos de metal. Por exemplo, os BEVs podem precisar de mais lítio (baterias maiores), enquanto os veículos com células de combustível podem exigir menos lítio (baterias menores), mas este último tipo de veículos também requer, por exemplo, platina e outros elementos nobres (metais do grupo da platina, PGMs), utilizados nos catalisadores das células. Então, devemos sempre avaliar criteriosamente se a mudança apenas significa substituir um metal crítico por

outro [36].

Importa ainda realçar que em todos os veículos modernos, incluindo os VEs, se utilizam cada vez mais componentes eletrónicos. Também no fabrico destes componentes, que contém placas de circuito impresso, sensores, ecrãs, etc., se utilizam muitos elementos críticos, alguns muito raros, também refletidos na **Tabela A**.

3.1 Recursos de Lítio

O lítio não é um metal raro e pode ser encontrado em diversas partes do mundo. Contudo, os minérios de lítio com condições técnicas e económicas atrativas estão localizados em regiões bastante específicas. Existem dois tipos de recursos minerais: salmouras (lagos salgados e outros depósitos salinos) e minerais de rocha (essencialmente silicatos pegmatíticos), **Figura 2**. Os primeiros estão principalmente localizados na América do Sul (Chile, Argentina, Bolívia) e também em alguns depósitos na China e nos EUA. Os segundos existem em diversas regiões do Mundo, mas os principais atualmente em atividade situam-se na Austrália e com menor relevância na China, no Canadá, na Rússia e em alguns países africanos. Portugal tem aparecido também no mapa dos países produtores de lítio, embora a extração dos minérios de rocha no nosso país tenha como destino

Elemento / Matéria-prima	Abundância na crosta	Principais produtores	Componente / Aplicação
Lítio	60 ppm	Austrália, 40%; Chile, 34%	Baterias de iões-Li (energia para tração).
Cobalto	25 ppm	Congo (R.D.), 60%	Baterias de iões-Li (energia para tração).
Níquel	99 ppm	Rússia, 18%; Canadá, 17%	Baterias de iões-Li (energia para tração).
Grafite	-	China, 70%	Baterias de iões-Li (energia para tração).
Magnésio	2,3%	China, 56%	Ligas leves em vários componentes e estruturas do veículo.
Terras-Raras	42 ppm (Nd)	China, 97%	Magnetos Permanentes (motor elétrico). Materiais luminescentes (ecrãs).
Tântalo	2 ppm	Austrália, 48%	Componentes eletrónicos: condensadores.
Nióbio	20 ppm	Brasil, 92%	Componentes eletrónicos: microcondensadores.
Índio	0,25 ppm	China, 58%	Ecrãs de visualização (LCD).
Germânio	1,4ppm	China, 72%	Componentes eletrónicos: microchips.
Gálio	19 ppm	China, 83%	Componentes eletrónicos: microchips. Iluminação (LEDs).
Prata	80E-3 ppm	Peru, 17%; Mexico, 14%	Componentes eletrónicos: Condensadores e outros componentes.
PGMs	5E-3 ppm	África do Sul (Pt), 79%	Componentes eletrónicos: fios finos condutores de alta precisão e outros componentes. Catalisadores nos veículos elétricos com células de combustível.

Terras-raras: elementos lantanídeos. Nos VEs destacam-se o neodímio (nos magnetos NdFeB), podendo conter também disprósio (Dy). PGMs ... metais do grupo da platina. Inclui 6 metais nobres, sendo os principais a platina, o paládio e o ródio.

Tabela A – Elementos críticos e estratégicos principais utilizados em componentes de veículos elétricos

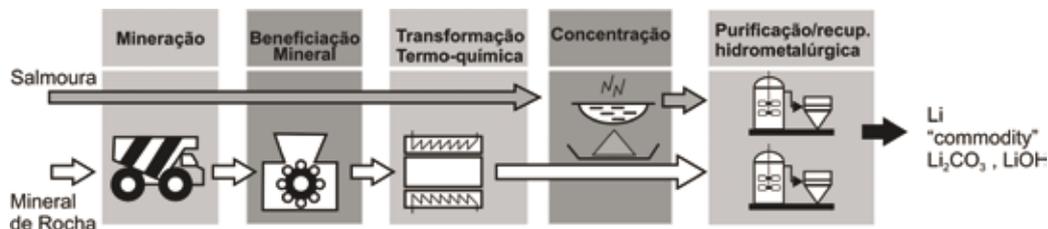


Figura 2 – Representação simplificada dos processos de recuperação de lítio de fontes minerais

sobretudo a indústria cerâmica. Na região da Beira Alta há minérios de lepidolite, enquanto no norte se encontram reservas de espodumena (no Minho) e petalite/espodumena (Trás-os-Montes) e de facto, foi tornado público recentemente [37] que na região de Trás-os-Montes existe uma das maiores reservas de lítio da Europa. Neste local poderá existir mineral para garantir mais de dez anos de vida útil à sua exploração, existindo jazidas estimadas em 10,3 megatoneladas (milhões de toneladas) de pegmatito (rocha), onde se concentra 1% de óxido de lítio e de 0,05% de estanho. O facto de Portugal possuir estes recursos, poderá pesar numa hipotética futura decisão de algum dos construtores de VEs localizar alguma unidade produtiva no nosso país. Contudo, este pressuposto não deve ser tido como garantido, porque entre o recurso mineral e o produto final (a bateria) há uma cadeia de valor industrial imensa (extração, beneficiação, metalurgia, produção de pós de eléctrodo, produção das placas, fabrico das células, montagem dos packs) pelo que não é tácito relacionar diretamente a localização do recurso mineral com a localização do fabrico das baterias ou dos VEs. Mas por outro lado, também é conhecido o interesse na aquisição de depósitos minerais de lítio por parte de empresas do ramo automóvel.

A procura mundial de lítio foi de 184 mil toneladas em 2015, correspondendo as baterias a 40%. Os analistas do *Deutsche Bank* esperam que a procura aumente para 534 mil toneladas até 2025, com fabricantes de baterias a representar 70% [38].

Alguns cenários apontam uma produção de cerca de 28 milhões de veículos TaaS a nível global até 2030 [25]. Até 2030, as baterias precisarão de 0,6 kg de Lítio por kWh – o que representa uma melhoria dos 0,8 kg atuais [25]. O tamanho médio das baterias que se prevê para estes casos é de 60 kWh, o que significa que cada carro precisará de 36 kg de lítio (valores expressos em carbonato de lítio). As necessidades anuais de lítio seriam de 1 milhão de toneladas por ano (assumindo que não havia reciclagem). Os recursos atuais a uma escala global

são superiores a 40 milhões de toneladas, embora se espere que o mercado leve a que mais locais de exploração sejam descobertos e adicionados às reservas, à medida que a produção e a procura aumentem.

3.2 Baterias de iões-Li

As baterias de iões-Li baseiam-se em dois tipos de eléctrodos capazes de integrar o ião Li na sua estrutura (intercalação), o qual se move num sentido ou noutro durante a carga ou a descarga, através de um eletrólito contendo um sal de lítio. Há várias fases sólidas capazes de desempenhar o papel de cátodo ou de ânodo, mas a utilização do lítio é sempre essencial devido às suas propriedades (é o elemento mais eletropositivo das séries eletroquímicas). A maioria dos cátodos utilizados comercialmente são óxidos de metais de transição, do tipo LiMO_2 (sendo $M = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Al}$) (vd. Tabela B [39,40]) e também de polianiões como os fosfatos (ex. LiFePO_4), sendo o ânodo mais comum de grafite, **Figura 3**.

Também têm sido propostos ânodos de óxido de titânio, já comercializados, mas com muito menos impacto do que a grafite. Há contudo imensas propostas alternativas em estudo, nomeadamente a utilização como cátodos de alguns selenetos, sulfuretos e halogenetos metálicos, bem como ânodos de materiais que formam ligas com o Li (como o Si, o Ge e o Sn). Contudo estes últimos sistemas referidos estão ainda em fase de desenvolvimento. A utilização de um eletrólito orgânico (vulgarmente carbonatos de alquilo) é uma outra característica importante que permite obter diferenças de potenciais elevadas (até cerca de 4 V), valores muito superiores a todas as outras pilhas e baterias do mercado (com exceção das pilhas primárias de Li metálico). Contudo, um dos problemas de segurança das baterias é exatamente a utilização de um eletrólito orgânico, que é combustível e que pode reagir violentamente se ocorrer sobreaquecimento da célula ou em caso

SISTEMA		Capacidade* específica (mAh g ⁻¹) / Capacidade volumétrica (mAh cm ⁻³) / Tensão (V, vs Li/Li ⁺)	Principais aplicações
Sigla	Cátodo		
LCO	LiCoO ₂	274 / 1363 / 3.8	Instrumentos Portáteis
NCM	Li(Ni _{1/3} Co _{1/3} Mn _{1/3})O ₂	280 / 1333 / 3.7	Instrumentos Portáteis e VEs
NCA	Li(Ni _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05})O ₂	279 / 1284 / 3.7	VEs
LMO	LiMn ₂ O ₄	148 / 596 / 4.1	VEs
LMO	LiFePO ₄	170 / 589 / 3.4	VEs

* teórica

Tabela B – Principais sistemas eletroquímicos utilizados em cátodos de baterias de íões-Li. [39,40]

de curto-circuitos, derivados da formação de dendrites (protuberâncias nas fases sólidas dos elétrodos) durante as sucessivas transformações dos ciclos carga/descarga.

Existe neste momento uma procura por mais eficiência nas baterias dos VEs tentando-se encontrar uma tecnologia mais viável.

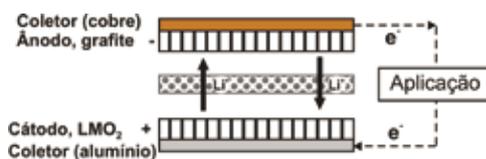


Figura 3 – Esquema de funcionamento de uma bateria de íões-Li

Um dos maiores avanços no capítulo das baterias foi recentemente realizado por investigadores da Universidade do Texas [41], onde trabalha a investigadora portuguesa Maria Helena Braga. Esta equipa desenvolveu uma bateria que pode ser carregada em minutos em vez de horas, tendo uma capacidade de armazenamento de energia três vezes superior quando comparada com as baterias atuais. A principal inovação destas novas baterias é fazer depender a capacidade de armazenamento de energia a partir do ânodo, em vez do tradicional cátodo, através de um eletrólito sólido de vidro, que permite a utilização de um ânodo construído em metais alcalinos. Assim as baterias serão mais baratas, mais seguras (o eletrólito sólido serve de barreira aos curto-circuitos) e apresentarão maior longevidade, prevendo-se que estejam no mercado dentro de dois anos.

Depois das descobertas a nível dos eletrólitos sólidos, novos desenvolvimentos a nível das baterias mais tradicionais à base de lítio foram obtidos [42]. Verificou-se que o uso de lítio também no elétrodo negativo

(em vez de grafite) podia aumentar a densidade de energia da bateria. Ao adicionarem uma mistura de fósforo e enxofre ao eletrólito, os investigadores diminuíram muito os riscos de incêndio e de corrosão sem aumentar os custos de produção.

4. A MOBILIDADE E A REESTRUTURAÇÃO DAS EMPRESAS E DAS CIDADES

Uma questão que aqui se coloca é a seguinte: o facto dos veículos destas novas gerações possuírem grande número de elementos elétricos, eletrónicos, magnéticos e outros, irá dar um novo impulso a determinadas indústrias de componentes para automóveis? Um caso importante será o fabrico de componentes, nomeadamente metálicos e cerâmicos por pulverotecnologias. Contudo, poderá haver alguns desafios mais críticos. No caso português, dados da Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel-AFIA [43] mostram que em Portugal existiam em 2018 cerca de 220 empresas industriais de componentes para automóvel. Estas empresas representaram 5% do PIB, 7% do emprego da indústria transformadora e 14% das exportações de bens transacionáveis e empregavam cerca de 50.000 trabalhadores. Estas empresas apresentaram em 2017 um volume de negócios de 10 mil milhões de euros, sendo 8,5 mil milhões em exportações, representando estas 85% do volume de negócios. Os destinos das vendas no mesmo ano foram Europa com 92% (Espanha: 21%; Alemanha: 17%; Portugal: 15%; França: 13%; Reino Unido: 12%, outros: 16%), NAFTA-3%, MERCOSUL-1%, Ásia e Oceania-2%, e África e Médio Oriente-2%. De toda esta atividade, o setor elétrico e de eletrónica representa 30% e o da metalurgia e metalomecânica 33%. Daqui se pode inferir que como os VEs possuem muito menos

componentes móveis (cerca de 20) que os veículos de motor de combustão interna (cerca de 2000), o advento dos VEs poderá ser uma real ameaça para esta indústria, com todas as suas implicações na vida das pessoas e na economia do país. A procura por componentes para novos veículos de MCI cairá provavelmente, começando previsivelmente no início dos anos 2020, à medida que os VEs comecem a ser cada vez mais a escolha do consumidor [44]. Uma redução de componentes de 2000 para 20 exigirá que essas empresas determinem como se irão reestruturar e quais as unidades de fabrico que irão consolidar, converter ou fechar.

O aparecimento de serviços tipo TaaS, e dos veículos autónomos irá com certeza levar ao desaparecimento de determinado tipo de profissões e empregos. Essas perdas poderão ser compensadas tanto por ganhos de trabalho criados em outros setores da economia que resultarão dos aumentos no rendimento e produtividade disponíveis pelo consumidor, como pela criação de emprego associado à capacidade de liderança tecnológica. A resistência local à implementação do TaaS levará que esses novos empregos sejam criados em outros lugares do mundo, mas não evitarão as perdas de emprego devido à mudança. As receitas da indústria do petróleo diminuirão dramaticamente. Esta fará um forte lobby contra a aprovação regulamentar dos VEAs. Os países ou regiões que cedam a essa pressão enfrentarão uma redução na sua competitividade, dados os enormes benefícios que surgirão da adoção do TaaS. De facto, se olharmos para trás, verificamos que os países que dominaram a economia global do final do século XX (os Estados Unidos, o Japão e a Alemanha) foram alguns dos países que mais beneficiaram no início desse século da passagem do transporte de tração animal para o veículo de motor de combustão interna. As previsões apontam para que os países que não realizarem uma transição para o TaaS tornar-se-ão os equivalentes do século XXI dos países que tentaram competir usando transportes de tração animal, com economias cujos sistemas de transporte são baseados em carros, camiões, tratores e aviões [25]. Contudo, a passagem da utilização dos automóveis de motor de combustão interna para os VEs e VEAs levará com certeza algumas décadas, permitindo uma gradual adaptação quer dos consumidores quer da própria indústria e dos seus modelos de negócio.

O incremento de VEs e VEAs levará

obrigatoriamente a um aumento na procura de energia elétrica. Estimativas realizadas para os E.U.A. [25] mostram que a frota de VEAs prevista no âmbito do serviço TaaS necessitará de 733 bilhões de kWh de eletricidade por ano em 2030. Este valor representa um aumento de 18% na procura total de eletricidade nos E.U.A. [45]. Enquanto os VEAs representarão uma parcela relativamente pequena da procura de eletricidade nos EUA, três quartos do crescimento da procura de eletricidade virão da expansão da frota VEAs. O interessante é que o aumento da procura (kWh) não implica a necessidade de aumentar a capacidade (kW) da infraestrutura existente naquele país. Isso explica-se porque o sistema de energia existente é construído para procuras de pico. Ao serem realizados os carregamentos dos VEs em períodos fora de pico, a infraestrutura existente pode absorver o aumento de 18% na procura sem investimentos materiais nas unidades de geração de energia. Aqui, o fator "armazenamento de energia" será de igual forma importante. Quando se pretender efetuar os carregamentos dos VEs em período fora de pico, em princípio noturno, a energia produzida terá preferencialmente origem em fontes renováveis, e no caso da energia solar, esta terá de estar armazenada para poder estar disponível nesta altura. Também aqui os aspetos relativos aos materiais e equipamentos utilizados para armazenamento de energia estão em pleno desenvolvimento na atualidade.

Os VEAs poderão reduzir a procura de energia no transporte rodoviário em 80%. É importante notar que, enquanto a procura de eletricidade aumentará em 18%, a procura total de energia diminuirá em 80%. Isso ocorre porque os VEAs são muito mais eficientes em termos de energia (80-85% ou mesmo 95%) do que os veículos de MCI, cujo rendimento energético é imensamente inferior (25-30%). A mudança de MCI para VEAs pode representar a maior redução das emissões de CO₂ nos Estados Unidos e sucessivamente à escala planetária. Uma mudança paralela para uma rede de energia limpa (por oposição à produção de energia por combustíveis fósseis) significa que os Estados Unidos poderão ter um sistema de transporte rodoviário essencialmente livre de emissões até 2030, de acordo com estas estimativas, situação que é igualmente desejável em termos globais.

Algumas cidades estão a sofrer um declínio na sua componente de população urbana. Por exemplo, Lisboa tinha cerca de 48% de população urbana de Portugal em 2000, mas baixou para 43 % em 2016 [1]. A

maioria desta população deslocou-se para as áreas limítrofes, mantendo, contudo, as mesmas atividades profissionais na cidade. Isto obriga a que essa população se faça deslocar diariamente, aumentando assim o fluxo de trânsito de entradas e saídas da cidade. A construção de parques de estacionamento dissuasores das entradas de veículos na cidade, só por si, não produzirá o efeito desejado, se a questão da mobilidade não for abordada de uma forma mais completa e séria, envolvendo obrigatoriamente outros vetores. De facto, sendo Lisboa uma cidade cujo traçado e planeamento original datam de alguns séculos atrás (tal como a maioria das cidades europeias e não só), estava planeada para que a sua população pudesse aceder a todos os serviços, mercados, comércio e demais necessidades, de uma forma simples, através da deslocação pedonal. Com o crescimento natural da cidade, e com a criação de grandes zonas comerciais situadas em locais cujo acesso obriga à utilização de veículos automóveis, levam a que as consequências ambientais sejam exatamente as contrárias ao que se pretende para uma cidade saudável. Uma vez mais, também aqui, parece que a adoção de um sistema de transporte partilhado e ecológico (questão que neste momento já começa a surgir em algumas das nossas cidades), poderá ser a escolha de futuro.

CONCLUSÃO

Afigura-se no futuro próximo uma profunda transição ao nível da mobilidade. A mobilidade elétrica, alimentada pelas energias renováveis, está num ponto de não-retorno, sendo provavelmente a contribuição mais relevante para a sustentabilidade ambiental e qualidade de vida do ser humano. As novas soluções de mobilidade e as energias renováveis têm sido acompanhadas nos últimos anos pelo desenvolvimento da ciência e engenharia dos materiais, pelo aumento das eficiências dos sistemas (quer de produção quer de armazenamento de energia) e pela queda dos custos de produção, tornando-se assim opções viáveis do ponto de vista técnico, económico e ambiental. O desaparecimento gradual de veículos com motores de combustão interna, substituídos pelos veículos elétricos e autónomos, mais eficientes, menos poluentes e com capacidades que até há pouco tempo se enquadravam no campo da ficção, ajudarão a complementar o desenvolvimento integrado que se

pretende e deseja ao nível da mobilidade, do conforto e do ambiente. A uma escala global!

REFERÊNCIAS

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2016). The World's Cities in 2016 – Data Booklet (ST/ESA/SER.A/392).
- [2] Joyce Dargay, Dermot Gately and Martin Sommer, Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960-2030, Energy Journal, Volume 28, Number 4, 2007, p. 143-170.
- [3] Shannon Bouton, Stefan M. Knupfer, Ivan Mihov and Steven Swartz, Urban Mobility at a tipping point, Sustainability & Resource Productivity, Mckinsey & Company, 2015.
- [4] World Health Organization, 7 Million Premature deaths annually linked to air pollution, March 25, 2014 in <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/> acedido em 10 maio 2019.
- [5] Egbue O., Long, S., Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions, Energy Policy, Vol. 48, Sept 2012, p. 717-729.
- [6] Hayer, K. J., The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars, Utilities Policy, Vol. 16, No. 2, June 2008, p. 63-71.
- [7] Macário J., Elétricos poluem menos 50% que Diesel, afirma estudo, 25 out 2017, Jornal Económico, em <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/elétricos-poluem-menos-50-que-diesel-afirma-estudo-225421> acedido em 20 novembro 2018.
- [8] <http://expresso.sapo.pt/internacional/2016-06-07-Noruega-vai-proibir-venda-de-carros-movidos-a-gasolina-e-a-gasoleo-ate-2025> acedido em 3 maio 2019.
- [9] <http://observador.pt/2016/10/10/alemanha-vai-banir-carros-a-gasolina-e-gasoleo/> acedido em 3 maio 2019.
- [10] <http://observador.pt/2017/10/23/salto-de-gigante-para-os-electricos-reino-unido-quer-tornar-obrigatorios-pontos-de-recarga-nos-postos-de-combustivel/> acedido em 9 maio 2019.
- [11] <http://www.gouvernement.fr/action/plan-climat> acedido em 16 abril 2019
- [12] <https://uk.reuters.com/article/us-volvocars-geely-electric/geelys-volvo-to-go-all-electric-with-new-models-from-2019-idUKKBN19Q0BJ> acedido em 12 abril 2019
- [13] <https://www.toyota.com/usa/environment/> acedido em 2 maio 2019
- [14] <https://www.dn.pt/dinheiro/interior/14-milhoes-de-carros-a-diesel-em-risco-de-nao-poderem-sair-de-portugal-8731942.html> acedido em 2 maio 2019
- [15] J. Worland, Charged up: Batteries are the next Target in China's clean-energy conquest, Time, October 16, 2017, p. 14.
- [16] Pavel C.C., Marmier A., Alves-Dias P., Blagoeva D., Tzimas E. (Joint Research Center). Substitution of critical raw materials in low-carbon technologies: lighting, wind turbines and electric vehicles. EUR

28152. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016. doi:10.2790/793319.

[17] Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability, McKinsey & Company, 2017.

[18] <https://www.toyota.pt/world-of-toyota/articles-news-events/2016/novo-prius-plug-in.json> acedido em 2 maio 2019

[19] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2014/new-world-record-for-solar-cell-efficiency-at-46-percent.html> acedido em 14 fevereiro 2019

[20] Fuel Cell Technologies Market Report 2015, U.S. Department of Energy

[21] TOYOTA FINE-Comfort Ride explores future possibilities for fuel cell electric vehicles, <https://newsroom.toyota.eu/2018-toyota-fine-comfort-ride/> acedido em 12 abril 2019

[22] Full speed ahead: How the driverless car could transform cities, Matthew Claudel and Carlo Ratti, McKinsey&Company, 2015

[23] Mike Murphy, Google could start shuttling people around in its self-driving cars this year, Quartz, March, 2015, in <https://qz.com/354434/google-could-start-shuttling-people-around-in-its-self-driving-cars-this-year/> acedido em 19 novembro 2018.

[24] <http://getmobility.de/20170126-waymo-will-systeme-fur-autonome-fahrzeuge-verkaufen/> acedido em 28 março 2019

[25] James Arbib, Tony Seba, Rethinking Transportation 2020-2030, RethinkX, 2017 in https://static1.squarespace.com/static/585c3439be65942f022bbf9b/t/591a2e4be6f2e1c13df930c5/1494888038959/RethinkX+Report_051517.pdf acedido 14 maio 2019.

[26] Danielle Muoio, These 19 companies are racing to build self-driving cars in the next 5 years, UK Business Insider, 2017 em <http://www.businessinsider.com/companies-making-driverless-cars-by-2020-2017-1> acedido em 30 janeiro 2019.

[27] Bruce Schaller, Turns out, Uber is clogging the streets, NEW YORK DAILY NEWS, February 27, 2017 em <http://www.nydailynews.com/opinion/turns-uber-clogging-streets-article-1.2981765> acedido em 30 janeiro 2019.

[28] U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS), "U.S. average household spending on all except public transport in 2015", Consumer Expenditure Survey, August, 2015.

[29] European Commission, Critical Raw Materials, EC- Report-Internal Market, Industry Entrepreneurship and SMEs, 2016

[30] EU Competitiveness in Advanced Batteries for E-Mobility and Stationary Storage Applications – Opportunities and Action, JRC Science for Policy Report, Steen, M. Lebedeva, N. Di Persio, F. Boon-Brett, L., 2017

[31] Report on Raw Materials for Battery Applications, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, Brussels, 17.5.2018 SWD (2018) 245 final

[32] Infomine – Mining Markets and Investment (<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/cobalt/>, acedido em 9-maio-2018)

[33] <https://www.macquarie.com/ca/corporate/expertise/cobalt-rally/>

[34] ORAS 2014. Technology and market perspective for future Value Added Materials- Final Report. Oxford Research AS, DG R&I Industrial Technologies, Brussels. Available at http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/technology-market-perspective_en.pdf acedido em 6 Junho 2017.

[35] Blagoeva D.T., Alves Dias P., Marmier A., Pavel C.C. (Joint Research Center). Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU (Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015-2030). EUR 28192. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016. doi: 10.2790/08169.

[36] Materials for energy. SETIS Magazine, No. 8.

[37] Sepeda - Largest Pegmatite-Hosted JORC Lithium Resource in Europe, Report, Dakota Minerals, 2017.

[38] Relatório Grupo de Trabalho "Lítio", Despacho n.º 15040/2016 de SEE publicado no DR, 2.ª série, de 13 de dezembro de 2016, 2017

[39] C.M. Julien, A. Mauger, K. Zaghbi, H. Groult, Comparative issues of cathode materials for Li-ion batteries, Inorganics 2014, 2, 132-154

[40] N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, Li-ion battery materials: present and future, Materials Today 2015, 18(5), 252-264

[41] M. H. Braga, N. S. Grundish, A. J. Murchisona and J. B. Goodenough, Alternative strategy for a safe rechargeable battery, Energy Environ. Sci., 10, 2017, p. 331-336.

[42] <https://www.motor24.pt/tech/guerra-das-baterias-promete-automoveis-triplo-da-autonomia/> acedido em 5 janeiro 2018

[43] Indústria de Componentes para Automóveis, AFIA, 2018.

[44] Dick Lee, Tony Seba predicts the Internal Combustion Engine will be obsolete by 2030, Innovations Value, 2016 <https://valueinnovations.com/tony-seba-predicts-the-internal-combustion-engine-will-be-obsolete-by-2030-why-what-are-the-implications/> acedido em 21 novembro 2018

[45] The transition to a Zero Emission Vehicles fleet for cars in the EU by 2050 : Pathways and impacts: An evaluation of forecasts and backcasting the COP21 commitments . / Witkamp, Bert; van Gijlswijk, René; Bolech, Mark; Coosemans, Thierry; Hooftman, Nils Stephan. European Alternative Fuels Observatory, 2017.

MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA VIA MOBILIDADE ELÉTRICA RODOVIÁRIA

LUÍS GIL

Direção Geral de Energia e Geologia, Divisão de Estudos, Investigação e Renováveis

Av. 5 de outubro, 208, 1069-203 Lisboa

luis.gil@dgeg.pt

RESUMO

Neste artigo são discutidos aspetos como a transição energética através da eletrificação da mobilidade e, com base nisso, os materiais que serão necessários para a tecnologia motriz associada ao novo tipo de mobilidade elétrica, nomeadamente a terrestre não ferroviária. A descrição desses materiais, a sua quantificação e outros aspetos como o seu fornecimento são aqui abordados e discutidos.

INTRODUÇÃO

O Roteiro para a Neutralidade Carbónica, que está em discussão pública, apresenta a eletrificação como solução de base, esperando no limite a autonomia energética do nosso país até 2050, com base num investimento significativo em renováveis. Esta eletrificação terá impacto em toda a sociedade, nomeadamente a nível da mobilidade.

O sector dos transportes é o maior contribuinte para as emissões de CO₂ relacionadas com a energia na EU-28, tendo atingido em 2015 cerca de 28,3% dessas emissões [1]. Atualmente apenas uma parte desse sector é elétrico, nomeadamente os transportes em carris, mas o mercado automóvel e de ciclomotores está em franco progresso atualmente [2].

Os veículos elétricos emitem significativamente menos gases de efeito estufa ao longo de suas vidas (incluindo o seu ciclo de fabrico) do que os motores de combustão, mesmo que a eletricidade que os move seja obtida através das mais poluentes formas de geração. É de referir aqui um estudo encomendado pelo Think Tank T&E que revela que no total do seu ciclo de vida (produção do veículo, baterias, geração de energia elétrica consumida,

mesmo que de fontes não renováveis), os veículos elétricos emitem em média menos 50% de gases de efeito estufa que os diesel. Por exemplo, para a Suécia que tem uma das redes de energia mais "limpas" da Europa, as emissões reduzir-se-iam até 85% [3].

Embora a eletrificação dos transportes possa passar pela escolha de um transporte elétrico em detrimento de um a combustíveis fósseis (por exemplo comboio de alta velocidade versus avião), os cenários mais comuns para a transição energética, que está em marcha, apontam para uma rápida eletrificação da mobilidade, nomeadamente a associada aos veículos automóveis, autónomos ou não e a veículos de duas rodas.

Por exemplo, o transporte de pesados, que representa menos de 5% do tráfego rodoviário na EU, gera cerca de 25% das emissões de CO₂ do transporte rodoviário. Mesmo que algum desse transporte pudesse divergir para a ferrovia, o transporte viário que proporciona um serviço de porta-a-porta continuará a desempenhar um importantíssimo papel no futuro [2].

Saliente-se ainda que os carros movidos a motor elétrico (EV) possuem também uma maior eficiência well-to-wheel (da fase de

produção até à utilização final) do que as viaturas com motor de combustão interna (ICE) [2].

As principais diferenças dos EVs em relação aos veículos com motores de combustão que utilizam combustíveis de hidrocarbonetos residem no sistema de motorização. Na verdade, nos veículos elétricos, quer a carroçaria, quer o chassi (embora este possa ter que ser adaptado à montagem das baterias ou aos depósitos de hidrogénio) não apresentam alterações a nível de materiais, o mesmo se passando com os sistemas de rodados, de travagem, de suspensão e outros.

Assim, assenta nos motores elétricos e sistemas de armazenamento de energia associados a grande alteração a nível dos materiais necessários para o novo conceito de mobilidade. Estes podem recorrer a alguns materiais que derivam de matérias-primas que podem ter alguns problemas de disponibilidade a nível quantitativo ou geoestratégico. E a transição energética será apenas sustentável se o uso dos materiais envolvidos for tomado em linha de conta. É por isso que muita investigação se tem centrado no desenvolvimento de motores elétricos isentos de terras raras e em conceitos tais como o design para a reciclagem [2].

Os transportes são de primordial importância para o nosso modo de vida, seja a nível da deslocação de pessoas, seja a nível da movimentação de mercadorias. Por isso, este setor terá, sem dúvida, um importante contributo na descarbonização da economia.

Baseado em dados do Eurostat e outras referências, é referido [2] que em 2017 existiam cerca de 255 milhões de carros na EU-28. Estima-se que em 2040 esse parque automóvel atinja 312 milhões de viaturas. Prevendo-se que cerca de um terço (Bloomberg) sejam EVs, teremos então 104 milhões de carros elétricos. Por outro lado a Agência Internacional de Energia prevê que em 2050 sejam vendidos cerca de 50 milhões de EVs/ano [8]. Existem mais de 40 milhões de e-bicicletas vendidas em todo o mundo em 2013 [9].

No entanto, o caminho para os veículos de emissão zero tem ameaças que podem retardar o progresso do carro elétrico. Os fabricantes de baterias estão preocupados em garantir o abastecimento de ingredientes-chave, principalmente cobalto e lítio. Assim, os fabricantes de

baterias e veículos elétricos dependem da descoberta de mais depósitos desses minerais estratégicos, da economia circular ou do desenvolvimento de tecnologias que não tenham que recorrer aos mesmos.

ENERGIA E ELETROMOBILIDADE RODOVIÁRIA

Uma economia/sociedade hipocarbónica tem que se basear quer em fontes de energia renováveis quer nos seus vetores. O sector elétrico será o mais rápido a descarbonizar devido à grande variedade de fontes de energia sem produção de dióxido de carbono (por exemplo, energia hídrica, eólica, solar).

O contributo da eletricidade para o consumo final de energia deverá aumentar dos atuais cerca de 27% para cerca de 60-70% [4]. Além disso espera-se que em 2050 a produção de energia elétrica na EU seja totalmente carbono-neutra [5].

Mesmo considerando a emissão média de CO₂ da produção de eletricidade na EU-28, um veículo elétrico produzia em 2014 menos de metade dos gases de efeito de estufa que produzia um veículo semelhante usando um motor de combustão interna a gasolina [2, 6].

Para além disso, a eletromobilidade melhora a segurança no abastecimento de energia, podendo até os seus sistemas de armazenamento de energia associados contribuir para uma estabilização da rede. Refira-se que a nível europeu (EU-28) em 2017 se teve que importar 87% do petróleo consumido dos quais 47% devidos ao transporte rodoviário [2, 7]. No entanto, a eletromobilidade poderá vir a criar uma pressão sobre a rede elétrica e investimentos relacionados, face ao incremento do consumo de eletricidade. Entrando agora num domínio mais técnico, é necessário apresentar algumas definições. Assim, é de salientar que existem essencialmente quatro tipos de carros elétricos [2]:

- Veículos híbridos elétricos (HEVs) que são acionados por um motor de combustão interna assim como por um motor elétrico a bateria, podendo funcionar num modo ou no outro ou em simultâneo; a bateria é carregada por travagem regenerativa ou através do motor de combustão interna (como num veículo não híbrido);

- Veículos híbridos elétricos carregáveis “plug-in” (PHEVs) que são HEVs mas com a particularidade de poderem carregar a bateria diretamente a partir da rede elétrica, tendo a bateria uma maior capacidade (e autonomia elétrica);
- Veículos elétricos a bateria (BEVs) que são apenas acionados por um motor elétrico alimentado por uma bateria (não possuem motor de combustão interna) que é carregada diretamente a partir da rede elétrica, com uma autonomia dependente da capacidade da bateria;
- Veículo elétrico a pilha de combustível (FCEVs) em que a energia elétrica consumida pelo motor elétrico é gerada através de uma pilha de combustível que usa hidrogénio comprimido como vetor energético e oxigénio atmosférico; existe também um sistema de baterias associado embora de menor capacidade que nos BEVs.

Os HEVs e os PHEVs consomem ainda energia fóssil, pelo que se poderão considerar soluções intercalares/provisórias ou de transição para um caminho virado para a eletrificação plena. Têm a vantagem de serem mais facilmente integrados/ aceites pelos utilizadores por terem, por enquanto, uma maior autonomia e, no primeiro caso, não envolverem mudança de hábitos. A nível dos PHEVs, é também de ter em consideração os tempos de carga alargados.

No caso dos FCEVs, o uso do hidrogénio, que envolve vários passos para a sua obtenção, é globalmente menos eficiente (desde a produção do próprio hidrogénio até ao seu consumo na pilha de combustível) do que a utilização direta de energia elétrica via bateria. No entanto, se o hidrogénio for produzido através de energia elétrica obtida por via renovável, nomeadamente em situações de excesso de produção, sendo uma solução de armazenamento, poderá ter interesse o seu consumo a nível dos transportes. Por outro lado, é necessário comprimir o hidrogénio a uma pressão elevada e haver infraestruturas dedicadas de fornecimento aos utilizadores. Porém estas infraestruturas poderão ser associadas às já existentes (combustíveis fósseis). Acresce que os tempos e tipos de abastecimento (curto), sendo semelhantes aos atuais para os combustíveis fósseis, ao não acarretarem mudanças de hábito, poderão ser de mais fácil aceitação pelos utilizadores. A autonomia dos FCEVs é já atualmente muito próxima da dos veículos a combustíveis fósseis.

Os BEVs possuem a vantagem de utilizar diretamente a energia elétrica da rede armazenada num sistema de bateria, mas são de construção simples. Necessitam no entanto de elevados tempos de carregamento, mesmo nos chamados carregamentos rápidos, e os veículos deste tipo mais comuns têm atualmente uma autonomia bastante menor do que os restantes tipos de viaturas atrás descritos, a não ser que se opte por pacotes de com maior potência mas que oneram bastante o investimento inicial. No entanto a tecnologia e inovação neste domínio têm avançado rapidamente no sentido de crescentes densidades energéticas e tempos de carregamento mais rápidos (por exemplo, eletrólitos sólidos, novos tipos de membranas e elétrodos com novos materiais).

No caso de transportes de pesados, algumas considerações podem ser também tomadas. Por exemplo, um camião médio necessitará de 500 kWh para fazer 400 km. O seu reabastecimento corresponde à paragem obrigatória de 45 minutos do camionista a cada 400 km de acordo com regulamentos comunitários. São, no entanto, necessárias infraestruturas de carregamento adequadas de grande potência. Uma bateria para este camião acrescentaria um peso de 4-5 toneladas ao mesmo (com a tecnologia atual), mas terá que se descontar o peso do pesado motor diesel que substitui para além de outras reduções de peso. Neste domínio o hidrogénio poderá ter uma palavra a dizer. No entanto, para autonomias menores, o carregamento noturno poderá ser suficiente [2].

Para os valores atuais dos custos de energia os veículos elétricos apresentam custos inferiores sendo que a nível de manutenção geral esses custos são também bastante menores.

Existem vários tipos de motores elétricos que podem ser usados para acionar um carro elétrico com potências variando usualmente de 15 a 200 kW [2]. A maioria dos atuais fabricantes opta correntemente por motores síncronos de íman permanente (PMSMs), mas existem também os motores de indução AC com rotores de cobre (CRIM) e os motores bobinados síncronos (SWF) [2]. De acordo com [2] (p. 13-14, Tabela 1) a nível de materiais específicos estes motores assentam em terras raras, cobre e ferrite. Os PMSMs requerem proteção térmica para evitar desmagnetização e os SWFs necessitam de corrente alternada e

contínua e, portanto, de um conversor [2]. Os motores alternativos isentos de terras raras, como a máquina assíncrona (ASM) e a máquina síncrona eletricamente excitada (EESM), existem nalguns modelos de veículos elétricos de bateria (BEVs), mas não são utilizados motores sem terras raras nos veículos elétricos plug-in (PHEVs) que têm requisitos mais rigorosos em termos de tamanho compacto e estabilidade de temperatura [9].

OS MATERIAIS PARA A ELETROMOBILIDADE RODOVIÁRIA

Os motores consistem principalmente de aço, alumínio e cobre, que possuem elevados níveis de reciclabilidade. No entanto, por exemplo, os PMSMs contêm vários metais da família das terras raras, que estão na lista das matérias-primas críticas da Comissão Europeia [2]. As terras raras apresentam uma elevada volatilidade de custo, a extração/transformação pode ser poluidora, têm uma disponibilidade concentrada e limitada (China) [8]. A sua substituição por ferrite pode conduzir a um menor binário [2].

Assim, para criar um sistema energético, virado para a descarbonização, que seja verdadeiramente renovável e sustentável, teremos que também ter em atenção os minerais/materiais necessários [2]. Estes terão que ser considerados como integrantes de uma economia circular. De salientar também que a manutenção e a substituição de algumas partes pode prolongar a vida útil dos motores.

A título de exemplo, apresenta-se a seguinte **tabela**, retirada de [2], onde, para motores de indução IE3 com carcaça de alumínio, com potências de 1,1 kW a 110 kW, temos:

Materiais	kg/kW	% (p/p)
Aço elétrico	4,18-11,00	47,2-52,4%
Outros aços	0,73-1,68	8,0-8,2%
Ferro fundido	3,00-4,55	21,6-33,9%
Alumínio	0,22-0,75	2,5-3,6%
Enrolamento de cobre	0,65-2,55	7,3-12,1%
Cablagem de cobre	0,01-0,03	0,1-0,2%
Material isolante	0,01-0,05	0,1-0,2%
Resina de impregnação	0,05-0,3	0,6-1,4%
Tinta	0,01-0,1	0,1-0,5%
TOTAL	8,86-21,0	-

Tabela 1
Lista típica de materiais em motores elétricos

Verifica-se assim que os motores são essencialmente constituídos por aço elétrico, havendo quantidades substanciais de ferro fundido e cobre, e uma pequena quantidade de alumínio. Quando os motores têm um rotor de cobre não há (quase) nenhum alumínio presente e o teor de cobre pode ir até 20% do peso do motor [2].

Os motores de ímã permanente também contêm outros metais. A maioria faz uso de ímãs de neodímio (também chamados de NIB ou ímãs NdFeB). Estes contêm, além de ferro e boro, o neodímio, tipicamente 31%, disprósio, tipicamente 5,5%, uma pequena quantidade de praseodímio (todos da família das terras raras) e pequenas quantidades de térbio [10].

Mas não se pense que os motores elétricos dos veículos servem apenas para provocar a movimentação/tração do mesmo. Existe uma série de pequenos motores elétricos que acionam diferentes dispositivos nos veículos, por exemplo vidros elétricos, escovas limpa-vidros etc. e também estes motores são “consumidores” de materiais. Apenas como exemplo, um Toyota Prius (modelo de 2007) tinha mais de 25 pequenos motores elétricos [10].

Num HEV típico as terras raras marcam presença no motor elétrico de acionamento das rodas, na bateria principal, nos pequenos motores elétricos de vários dispositivos, nos vidros e espelhos, em vários sensores, nos écrans/painéis digitais, no catalisador, podendo mesmo ser usados em aditivos de combustíveis (no caso diesel) [10]. Um destes veículos, apenas no motor elétrico principal contém cerca de 2 kg de ímãs à base de terras raras (31% de neodímio; 5,5% de disprósio) [10]. Um BEV terá cerca de 2,6 kg de neodímio nesse componente [8]. A quantidade de NdFeB usada por e-bike é cerca de cerca de 0,3 kg a 0,35 kg NdFeB [9].

Assim, os BEVs podem precisar de mais lítio (baterias maiores), enquanto os veículos com pilhas de combustível podem exigir menos lítio (baterias menores), mas este último tipo de veículos também requer, por exemplo, platina e outros elementos nobres (metais do grupo da platina, PGMs), utilizados nos catalisadores das pilhas de combustível [i].

A nível das baterias, para se ter uma ideia da quantidade de materiais necessários usando como exemplo baterias de ião de lítio (Li-Ion), com diferentes tipos de química

associada e diferentes tipos de cátodos e ânodos, para dois exemplos correntes de veículos PHEVs e EVs, podemos considerar a tabela seguinte [10]:

Tipo veículo	Material	Quantidade (kg)
PHEV 40 kW	Lítio	1,35 – 5,07
	Cobalto	0 – 3,77
EV 100 kW	Lítio	3,38 – 12,68
	Cobalto	0-9,41

Tabela 2 - Quantidade de lítio e cobalto em baterias de íão de lítio típicas em automóveis híbridos e elétricos.

A grafite é outro material crítico utilizado como suporte condutor dos elétrodos (ânodo) das baterias. A China é responsável pelo fornecimento de cerca de 70% desta matéria-prima [11, 12]. A maioria dos cátodos utilizados comercialmente são óxidos de metais de transição, do tipo LiMO₂ (sendo M = Co, Ni, Mn, Al) [12].

Resumindo, a nível de elementos/materiais críticos e/ou estratégicos mais importantes utilizados nos diversos componentes dos EVs, é apresentada a lista seguinte:

Elemento/ Matéria-prima	Componente/Aplicação
Lítio	Baterias de íões-Li (energia para tração)
Cobalto	Baterias de íões-Li (energia para tração)
Níquel	Baterias de íões-Li (energia para tração)
Grafite	Baterias de íões-Li (energia para tração)
Magnésio	Ligas leves em vários componentes e estruturas do veículo
Terras raras	Ímãs permanentes (motor elétrico); materiais luminescentes (ecrãs) Materiais luminescentes (ecrãs)
Tântalo	Condensadores
Nióbio	Microcondensadores
Índio	Ecrãs de visualização (LCD)
Germânio	Microchips
Gálio	Microchips; iluminação (LEDs)
Prata	Condensadores e outros componentes
PGMs	Fios finos condutores de alta precisão e outros componentes; catalisadores nos FCEVs; Catalisadores nos veículos elétricos com células de combustível

Tabela 3 – Elementos/materiais críticos/estratégicos dos EVs.

Os materiais com elevado grau de reciclabilidade, como o cobre ou o alumínio, promovem uma economia de 80-95% da energia necessária para a sua produção

e podem ser vistos em si próprios como uma “auto-reserva” através da designada mineração urbana (“urban mining”) [10].

Se o cobre não apresenta problemas a nível de disponibilidade, o mesmo não se passa com outros materiais, alguns relacionados com escassez ou mesmo com problemas geopolíticos e geoestratégicos que podem afetar as garantias de abastecimento. Alguns têm uma produção geograficamente muito concentrada (terras raras), outros são produzidos em zonas de guerra ou com enormes problemas sociais (cobalto).

Embora seja relativamente fácil reciclar metais comuns, como cobre, aço e magnésio, muito mais complexa é a reciclagem de produtos nos quais pequenas quantidades de vários metais estão presentes, próximos uns dos outros, ligados em revestimentos ou coberturas, ou presentes como ligas. Se, por exemplo, certas peças do motor forem recicladas através da metalurgia do cobre, o alumínio presente na mistura será perdido. Para reduzir essa perda, o motor deveria ser projetado para facilitar a separação do alumínio e do cobre durante o pré-processamento [10].

CONCLUSÕES

Uma profunda transição a nível da mobilidade está já a ocorrer. Perspetiva-se que a mobilidade elétrica alimentada pelas energias renováveis venha a ser o panorama do futuro, o que se traduzirá numa importante contribuição para a sustentabilidade energética e ambiental.

A transição energética oferece oportunidades de crescimento económico e social. Países como o nosso em que por vezes existem excessos de produção de energia elétrica por via renovável, deverão promover o seu armazenamento. Soluções de bombagem hídrica poderão ser completadas nalgumas situações com produção de hidrogénio renovável, nomeadamente para consumo nos FCEVs, pelo menos inicialmente a nível de algumas frotas.

Face às reservas de lítio existentes no nosso país, a sua exploração em termos de fileira, promovendo a produção de sistemas de armazenamento energético para vários fins mas associados essencialmente à mobilidade elétrica poderá ajudar a promover este tipo de transição.

REFERÊNCIAS

- [1] IEA (International energy Agency)/UIC (International Union of Railways), Railway Handbook 2017, 2017.
- [2] De Wachter B., White Paper – Electric motors in the energy transition, European Copper Institute, Publication No. Cu0254, 2018.
- [3] Macário J., Elétricos poluem menos 50% que Diesel, afirma estudo, 25 out 2017, Jornal Económico, em <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/elétricos-poluem-menos-50-que-diesel-afirma-estudo-225421> acedido em 20 novembro 2018.
- [4] European Commission, Commission Staff Working Document / Impact Assessment / Accompanying the document “Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2012/27/EU on energy Efficiency”, Brussels, 30.11.2016.
- [5] <https://www3.eurelectric.org/the-european-power-sector-in-transition/electricity-is-decarbonising/> assessed in 4th March 2019.
- [6] European Commission, JRC Technical Report, Well-to-wheels (Appendix1-Version 4.a) / Summary of WTW Energy and GHC balances, 2014.
- [7] Eurostat, Oil and petroleum products – a statistical overview, junho, 2017.
- [8] Materials for Energy, SETIS Magazine, 8 (2015).
- [9] Pavel C.C., Marmier A., Alves-Dias P., Blagoeva D., Tzimas E. (Joint Research Center). Substitution of critical raw materials in low-carbon technologies: lighting, wind turbines and electric vehicles. EUR 28152. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2016. doi:10.2790/793319.
- [10] EWI, Rare Earth Materials: Important Industrial Applications and Uses, Rare earth Roundtable, 2011.
- [11] Report on Raw Materials for Battery Applications, COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT, Brussels, 17.5.2018 SWD (2018) 245 final.
- [12] N. Nitta, F. Wu, J.T. Lee, G. Yushin, Li-ion battery materials: present and future, Materials Today 2015, 18(5), 252-264.

Para citação deste artigo: Gil, Luís, *Materiais Necessários para a Transição Energética Via Mobilidade Elétrica Rodoviária, Ciência & Tecnologia de Materiais*, vol. 31, n. 1, pag. 22 - 27, 2019 (ISSN 0870-8312) (www.spmaterials.pt).

DURIT

grupo **DURIT**

UMA EMPRESA
DA COMUNIDADE

UM PROJETO
VENCEDOR

UM DOS MAIORES
EMPREGADORES
DE ALBERGARIA

TODOS QUEREMOS
SER DURIT

Forma, qualifica
e valoriza os seus
colaboradores

Na primeira linha
dos apoios sociais

Na vanguarda da
sustentabilidade

MANUFATURA ADITIVA: UMA PERSPETIVA TECNOLÓGICA

PAULA M. VILARINHO^{1*};
PEDRO DUARTE^{1,2};
JORGE MARINHEIRO²;
JOSÉ MARTINHO OLIVEIRA³

¹ Department of Materials and Ceramic Engineering, CICECO - Aveiro Materials Institute, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

² Porcelanas da Costa Verde, Z.I. Vagos - P.O.Box 27, 3844-909 Vagos, Portugal

³ Escola Superior Aveiro Norte, CICECO - Aveiro Materials Institute, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

* Autor correspondente: paula.vilarinho@ua.pt

CONTEÚDO

1. Sumário
2. Nomenclatura
3. As vantagens da manufatura aditiva
4. As tecnologias e a sua evolução
5. Os materiais para a manufatura aditiva
6. A manufatura aditiva e a indústria
7. Oportunidades, tendências e futuro da manufatura aditiva
8. Conclusões
9. Referências

SUMÁRIO

Não é tarefa fácil descrever o estado atual da técnica de Manufatura Aditiva (MA). Tratando-se de uma tecnologia disruptiva e, considerada por alguns, uma revolução tecnológica, desde a década de 80 (quando aparece a primeira referência à construção de objetos assistida por computador), que esta área tem tido um crescimento contínuo. Crescimento este marcadamente acelerado, tendo-se tornado mesmo exponencial, desde que as primeiras patentes caíram em domínio público e, mais recentemente, por se ter tornado claro que é uma das tecnologias pilares na economia circular e na sustentabilidade da vida no planeta Terra. Neste cenário de constante evolução, este artigo pretende, à luz do conhecimento e desenvolvimento atual, apresentar uma visão panorâmica alargada do que é a MA nos dias de hoje. Sem querer ser exaustivo, apresenta as razões que estão por trás do estado atual da técnica, ou seja, mostra um pouco da sua história, classifica as tecnologias, identifica as variáveis do processo, que condicionam a sua utilização e o seu sucesso, elenca as atuais aplicações mais importantes, enumera as limitações, terminando com uma previsão do que consideramos ser o futuro da MA, do ponto de vista tecnológico.

Palavras chave: manufatura aditiva (MA), impressão 3D, indústria, tecnologia, CAD

NOMENCLATURA

A Manufatura Aditiva (doravante designada por MA) refere-se a um grupo de tecnologias que criam objetos físicos em 3D (três dimensões ou tridimensional), diretamente a partir de modelos CAD (*Computer-Aided Design*). A MA “adiciona” líquidos, películas ou laminados, fios ou materiais em pó, camada a camada, para formar componentes / objetos, sem necessidade, ou com necessidade mínima, de subsequente processamento. Esta metodologia oferece várias vantagens, nas quais se incluem a total liberdade geométrica de design / projeto (sem tecnologia rival comparável), quase 100% de utilização de material (livre de resíduos) e prazos de entrega curtos [1].

Ao longo do tempo, inúmeras designações, tais como *Rapid Prototyping*, *Rapid Tooling* e *Layer Manufacturing*, entre outras, apareceram para definir o processo. No entanto, as designações de *3D Printing* (Impressão 3D) e *Additive Manufacturing* (Manufatura Aditiva) foram sendo as mais usadas.

Em 2009 a ASTM International (*American Society for Testing and Materials*), sob jurisdição do comité F42 *Additive Manufacturing Technologies*, apresenta a primeira norma ASTM, com o objetivo de uniformizar a nomenclatura no mundo da manufatura camada a camada. Definiu oficialmente a MA, como um processo de junção de materiais para fabricar objetos a partir de dados de modelos tridimensionais, geralmente camada sobre camada, em oposição às tecnologias de manufatura subtrativa, como a maquinação tradicional [2].

Ainda de acordo com a ASTM, MA é sinónimo de: impressão 3D, fabricação aditiva, processo aditivo, técnicas aditivas, fabricação aditiva de camadas, fabricação por (ou de) camadas e fabricação de formas livres. A norma foi revista e aprovada a 1 de março de 2012, passando a ser designada por ASTM F2792-12a. Esta norma define a terminologia, apresenta as definições e breves descrições para as diferentes classes de processos e que se apresentam na **(Tabela I)**. Em Dezembro de 2015, a ISO (*International Organization for Standardization*), sob o comité ISO/TC 261, e a ASTM, sob o comité F42, acordaram na criação de uma norma ISO/ASTM 52900 [3] para a MA, com o objetivo de uniformizar a

terminologia em ambas as organizações.

Embora a MA abarque diferentes processos e tecnologias, todos incluem a mesma sequência de etapas e que consiste em 3 passos básicos. A criação do modelo digital tridimensional do objeto é seguida da sua conversão em dados STL, nome originalmente proveniente da designação de *Stereolithography*, mas também aceite pela comunidade como *Standard Tessellation Language* (passo 1). Para cada ficheiro STL, um software de *slicing* é responsável por “fatiar o objeto em camadas” e fornecer informação ao equipamento de MA sobre onde depositar o material para cada camada (passo 2). O objeto é assim construído num processo de camada a camada (passo 3). Dependendo da forma do objeto, do material e da técnica, seguem-se alguns processos de pós-conformação, que têm como objetivo aumentar a densidade, melhorar o acabamento superficial ou remover o material de suporte.

A MA é hoje um conjunto de processos, os quais se diferenciam pela forma como são construídas e unidas as camadas. Alguns processos usam energia térmica a partir de feixes de laser ou de eletrões, que são direcionados opticamente sobre as camadas de material, para fundir ou sinterizar pós metálicos, cerâmicos, poliméricos ou compósitos. Outros processos usam cabeças de impressão, do tipo jato de tinta, para pulverizar com precisão aglutinantes, ligantes ou solventes sobre pós cerâmicos ou de polímero. Os diferentes processos de MA são atualmente agrupados em sete categorias [2]: (1) Fotopolimerização em cuba (*Vat photopolymerization*); (2) Laminação de folhas (*Sheet lamination*); (3) Fusão de (em) cama em pó (*Powder bed fusion*); (4) Extrusão de material (*Material extrusion*); (5) Jato de ligantes (*Binder jetting*); (6) Deposição de energia dirigida (*Direct energy deposition*); (7) Jato de material (*Material jetting*) (**Tabela I**). Os principais processos serão sucintamente apresentados e comparados ao longo deste artigo.

Tabela I
Classes de processos, técnicas e materiais em MA,
segundo a norma ASTM F2792-12a [2].

Classes de processos de MA	Descrição	Tecnologias *	Forma material	Materiais	Observações	Referências
Fotopolimerização em cuba (Vat Photopolymerization)	Líquido fotossensível é seletivamente curado através de uma fonte de luz UV, ativadora da polimerização	SLA® Micro-SLA® DLP CLIP	Líquido Suspensão	Polímeros Compósitos Cerâmicos	Acabamento superficial excelente Resolução de impressão elevada Propriedades mecânicas dos produtos finais boas	SLA® Patent US 4575330 CLIP Patent WO 2014126837A2
Laminação de folha (Sheet Lamination)	Folhas de material são cortadas e ligadas para formar o objeto	UC/UAM LOM	Folha Chapa Laminado	Metais Polímeros Papel	Custo de equipamento e materiais baixo	LOM Patent US 4752352
Fusão em cama de pó (Powder Bed Fusion)	Energia térmica funde seletivamente e localmente o material na cama de pó	SLS SLM DMLS EBM	Pó	Polímeros Metais Cerâmicos Compósitos	Propriedades mecânicas dos produtos finais boas Acabamento superficial bom Resolução de impressão boa	SLS Patent US 5155324 DMLS Patent US 20160288207
Extrusão de material (Material Extrusion)	Material é dispensado e seletivamente depositado através de um orifício	FFF/FDM® Robocasting Bioplotting Contour crafting	Filamento Pasta Suspensão	Metais Polímeros Cerâmicos Compósitos	Densidade dos produtos finais elevada Instalação e uso dos equipamentos fácil Oferta e variedade de equipamentos no mercado elevada	FDM® Patent US 5121329 Robocasting Patent US 6027326 Bioplotting Patent US 8639484
Jato de ligante (Binder Jetting)	Agente ligante líquido é seletivamente depositado para aglutinar material em pó	3DP MJP	Pó	Metais Cerâmicos Compósitos Polímeros	Consumo de energia baixo Variedade de materiais disponíveis elevada Capacidade de reutilização de material boa Resolução de impressão boa Consumo de energia baixo	3D Printing Patent US 5204055
Deposição direta de energia (Direct Energy Deposition)	Energia térmica é focada num ponto para fundir o material enquanto é depositado	LENS EBAM LMD	Pó	Metais	Desperdício de material baixo Propriedades mecânicas de produtos finais boas Velocidade de impressão elevada Consumo de energia elevado	LENS Patent US 6046426 LMD Patent WO 2006133034A1
Jato de material (Material Jetting)	Gotas do material são seletivamente depositadas	Polyjet	Líquido Suspensão	Polímeros Compósitos Metais	Objetos com gradação de propriedades Resolução de impressão elevada	

* SLA® - Stereolithography Apparatus; DLP - Digital Light Processing; CLIP - Continuous Liquid Interphase Printing; LOM - Laminated Object Manufacturing; UC/UAM - Ultrasonic Consolidation/Ultrasonic Additive Manufacturing; SLS - Selective Laser Sintering; SLM - Selective Laser Melting; DMLS - Direct Metal Laser Sintering; EBM - Electron Beam Melting; FFF - Fused Filament Fabrication; FDM® - Fused Deposition Modelling; 3DP - 3D Printing; MJP - Multi Jet Printing; LENS - Laser Engineered Net Shaping; EBAM - Electron Beam Additive Manufacturing; LMD - Laser Metal Deposition.

AS VANTAGENS DA MANUFATURA ADITIVA

As vantagens da MA tornam-se claras quando comparada com a manufatura tradicional e incluem [4]:

Flexibilidade das partes / formas / singularidade. A fabricação camada a camada potencia a capacidade de criar praticamente qualquer forma e esta é a grande vantagem da MA. Com este tipo de fabrico não há restrições de ferramentas, torna-se possível fabricar peças de complexidade geométrica elevada numa única peça e numa etapa de produção única. Não há, assim, a necessidade de sacrificar a funcionalidade das peças em prol da facilidade de fabricação. A possibilidade de criar quase qualquer forma (formas estas que podem ser de facto muito difíceis de fabricar por outros processos, como maquinaria, moldação, prensagem, entre outros), para validar funcionalidade e estética em tempo útil, reveste-se de particular relevância, do ponto de vista da aplicação e da indústria. De notar que de uma forma geral, os equipamentos de manufatura aditiva permitem aos *designers* e projetistas produzir peças e modelos conceptuais num curto espaço de tempo e a baixo custo, usando equipamentos de bancada. Além disso, é possível manufaturar uma única peça que exiba propriedades diferenciadas (por exemplo, a nível de propriedades mecânicas, flexibilidade numa parte e rigidez noutra), o que abre oportunidades ímpares para o desenvolvimento de objetos únicos, até agora impossíveis de desenvolver e para aplicações, algumas não existentes ainda. Um exemplo paradigmático desta capacidade da MA de potenciar o fabrico de objetos até agora não fabricados, é a fabricação de tecidos humanos (*tissue engineering construct – TEC*) (*bioimpressão / bioprinting*) [5]. Apesar de embrionária, a bioimpressão é uma das áreas emergentes da MA, com um mercado que deverá atingir os 4 mil milhões de dólares em 2026 e com uma taxa anual composta de crescimento de 19,5% [6].

Eficiência de fabrico / recursos. Os processos de fabricação convencionais subtrativos exigem, normalmente, recursos complementares para retificação, acabamento, montagem (ferramentas de corte, retificadores, entre outros), para além do equipamento-ferramenta principal de processamento. Por um lado, porque são fabricadas camada a camada já com a forma final e, por outro lado, porque

podem ser fabricados objetos / estruturas complexas, as peças produzidas por MA não requerem, na maioria dos casos, recursos de processamento adicionais. Isto diminui os tempos de processamento dos objetos / peças e facilita a implementação da fabricação de pequenos lotes de peças. As técnicas convencionais, como a moldação por injeção, são menos dispendiosas para a fabricação de produtos (por ex. poliméricos) em grandes quantidades, enquanto que a MA pode ser mais rápida, flexível e económica, embora produza quantidades relativamente pequenas de peças. Como resultado desta facilidade de manufatura, juntamente com a portabilidade dos equipamentos de impressão, as peças podem ser fabricadas por mais fabricantes, fabricantes mais próximos dos clientes e desloca-se a fabricação para jusante, para cada vez mais perto do consumidor, permitindo a fabricação de produtos ou famílias de produtos, que respondem aos requisitos dos consumidores individuais [7]. Este facto representa uma alteração / melhoria drástica da dinâmica da cadeia de abastecimento, com conseqüente economia de recursos e conducente à manufatura sustentável.

Eficiência de material. Contrariamente à manufatura subtrativa, na qual uma grande quantidade de material necessita de ser removida ou é desperdiçada, a MA, faz um uso eficiente das matérias-primas. Os materiais restantes / residuais podem ser reutilizados com processamento mínimo.

Flexibilidade de produção. Os equipamentos de MA não exigem configurações dispendiosas e, portanto, tornam económicas as produções de pequenos lotes. Por outro lado, a qualidade das peças depende diretamente do processo e não tanto das competências do operador. Como tal, a produção pode ser facilmente sincronizada com as necessidades do cliente. Além disso, os problemas de balanceamento de linhas e estrangulamentos da produção são virtualmente eliminados, já que as peças complexas são produzidas como peças únicas, numa etapa só.

De salientar ainda, que as tecnologias de MA são muito complementares ao processo de engenharia inversa para reproduzir ou reparar objetos / modelos / estruturas.

AS TECNOLOGIAS E SUA EVOLUÇÃO

Como referido, a MA é um conjunto de tecnologias em desenvolvimento e cujo aparecimento remonta à década de oitenta, para criar objetos tridimensionais camada a camada, a partir de modelos CAD. Inicialmente desenvolvida para apoiar os engenheiros na fase de conceção de produto, para produzir modelos e protótipos de peças, foi designada à época por prototipagem rápida. No entanto, no que diz respeito à sua aplicação prática, a MA está atualmente na vanguarda da tecnologia em diferentes áreas como indústria, saúde e artes.

A prototipagem rápida surgiu como um meio para acelerar o processo demorado, dispendioso e iterativo de design de produto, reduzindo o tempo de lançamento no mercado, melhorando a qualidade e reduzindo os custos. Imprimindo protótipos físicos diretamente a partir de dados tridimensionais auxiliados por computador (CAD), além disso a prototipagem rápida oferecia aos projetistas a oportunidade de executar rapidamente várias iterações do projeto e realizar estudos de mercado. Este benefício veio a tornar-se ainda mais relevante nos dias de hoje, com a diminuição dos ciclos de vida dos produtos e a crescente necessidade de desenvolvimento, quase contínuo, de novos produtos por parte das empresas, para se manterem competitivas.

De acordo com Berman [8] as tecnologias de MA passaram por três fases evolutivas nos últimos anos. Na primeira fase, os projetistas utilizaram as tecnologias de MA para produzir apenas protótipos de novos produtos. A segunda fase inclui a aplicação da MA na criação de peças acabadas; esta é chamada a fase de "manufatura digital direta" ou "ferramenta rápida". A terceira fase está relacionada com o equipamento, designadamente com as impressoras 3D, que tal como as impressoras desktop, passaram a ser utilizadas pelos consumidores finais.

Um dos aspetos chave para desbloquear o potencial da MA foi o desenvolvimento do formato padrão de arquivo de dados STL. Um arquivo STL descreve uma superfície triangulada usando um sistema tridimensional de coordenadas cartesianas tridimensional. Os dados STL incluem as coordenadas cartesianas XYZ de cada vértice, bem como um vetor normal à face triangular. O modelo de peça STL é orientado no espaço cartesiano e o *software*

é usado para fatiar o modelo paralelo ao plano XY, em incrementos discretos iguais à espessura da camada.

FOTOPOLIMERIZAÇÃO EM CUBA (VAT PHOTPOLYMERIZATION)

Chuck Hull, considerado por muitos como o pai da MA, inventou o primeiro processo, no qual polímeros fotossensíveis eram usados e curados seletivamente usando uma fonte de luz ultravioleta (UV). Este processo, mais tarde designado por *Stereolithography Apparatus* (estereolitografia, SLA® ou SL), foi o primeiro processo de MA a ser patenteado (US Patent 4575330, 1986) [9] e o primeiro a estar disponível comercialmente, através da empresa *3D Systems*, do qual Chuck Hull foi cofundador.

A estereolitografia, também conhecida como aparelho de estereolitografia, fabricação ótica, foto-solidificação ou impressão de resinas, baseia-se no conceito de fotopolimerização, através do qual o objeto é fabricado por cura (reticulação) de cada camada do fotopolímero líquido, usando uma fonte de luz UV. A estereolitografia requer o uso de estruturas de suporte, que se prendem à plataforma do elevador para evitar a deflexão devido à gravidade. Normalmente, os suportes são criados automaticamente durante a preparação de modelos e devem ser removidos manualmente após a impressão. É caracterizada por conferir um excelente acabamento superficial aos objetos impressos, garantir homogeneidade da densidade ao longo das peças elevada e ser capaz de manufaturar uma família alargada de materiais, desde que os materiais (ou composição de materiais) a imprimir sejam fotossensíveis; o que, por outro lado, pode significar custos elevados. Dependendo da natureza dos materiais a imprimir, poderá haver ou não necessidade de etapas de pós conformação. Este é o caso das composições cerâmicas, nas quais a presença de resinas fotossensíveis implica etapas de "queima" (*debinding*) posterior, com todas as limitações processuais associadas. A sua maior limitação prende-se, no entanto, com os tempos elevados de impressão, associados ao tempo de cura do líquido fotossensível. Em termos de limitações da técnica referem-se também restrições a nível das dimensões finais do objeto, o custo associado aos fotopolímeros e a seleção de materiais algo limitada (já que ser fotossensível é uma condição *sine qua non*).

Após o desenvolvimento da tecnologia de SLA®, diferentes técnicas foram desenvolvidas e ainda hoje amplamente utilizadas. Dentro deste grupo destacam-se as tecnologias Micro-SLA, DLP (*Digital Light Processing*) e CLIP (*Continuous Liquid Interphase Printing*). Baseadas na estereolitografia, ou seja, com o princípio comum de cura de cada camada do objeto impresso, usando uma fonte de luz ativadora da polimerização, as diferenças relacionam-se com especificidades de aplicação da fonte de luz, proteção da área a irradiar e continuidade do processo. As alterações / evoluções referidas permitem, acima de tudo, tempos de impressão mais rápidos. No caso da produção contínua de interface líquida (CLIP), ao contrário da estereolitografia, o processo de impressão é contínuo, podendo criar-se objetos até 100 vezes mais rapidamente do que pelos métodos comerciais de impressão tridimensional, segundo os inventores da técnica [10].

Estas tecnologias fazem parte do grupo de processos atualmente designado por Fotopolimerização em cuba (*Vat Photopolymerization*). Para uma descrição detalhada dos processos de Fotopolimerização em cuba sugere-se a consulta das referências [11 - 13].

LAMINAÇÃO EM (DE) FOLHA (SHEET LAMINATION)

Um outro grupo de tecnologias classificadas pela norma ASTM [2] refere-se ao uso de material na forma de folha e que, por ação de uma fonte energética laser (LOM – *Laminated Object Manufacturing*) ou ultrassons (UC/UAM – *Ultrasonic Consolidation/ Ultrasonic Additive Manufacturing*), corta a secção correspondente a cada camada. Com o aparecimento de tecnologias alternativas, atualmente a manufatura por laminação em folha não tem atualmente expressão tecnológica significativa. Estas tecnologias rapidamente caíram em desuso, essencialmente devido ao facto de necessitarem de materiais na forma de folha (uma restrição para alguns grupos de materiais), por possuírem limitações nas geometrias manufaturáveis e pelo acabamento superficial modesto.

FUSÃO EM CAMA DE PÓ (POWDER BED FUSION)

A sinterização a laser (*Laser sintering*, LS) ou a sinterização seletiva a laser (SLS) é

uma técnica de MA que utiliza um laser de alta potência como fonte de energia para sinterizar materiais em pó (tipicamente nylon / poliamida, mas também metais, cerâmicos e vidros), direcionando o laser automaticamente para pontos no espaço definido por um modelo 3D, para criar uma estrutura sólida. Em vez de usar um laser para curar resinas fotossensíveis, a energia do laser é usada para aquecer e consolidar, camada a camada de pó de material. A tecnologia SLS permite manufaturar aditivamente um leque alargado de materiais. Teoricamente, poder-se-á assumir que qualquer termoplástico, que possa ser transformado em pó com a morfologia apropriada, possa ser processado por LS. Ainda que parcialmente fundidas e consolidadas, as peças manufaturadas por SLS possuem resistência mecânica suficiente para serem usadas em subseqüentes operações. As vantagens da fabricação por LS, como em outros sistemas de MA à base de pó, incluem a não necessidade de estruturas de suporte, a recuperação do pó após a conclusão da peça, a excelente resolução das peças fabricadas, que praticamente dispensam acabamentos, ao contrário de outras técnicas como o *Binder jetting* onde é necessária uma sinterização após a conformação. Apesar de promissora e caracterizada por um recente esforço de investigação e desenvolvimento no uso de materiais industrialmente relevantes, como os materiais compósitos, a utilização prática de LS para a fabricação de componentes poliméricos continua restrita a um grupo de materiais. As limitações prendem-se com a necessidade de os materiais absorverem a energia no comprimento de onda do laser, a janela de parâmetros de processamento ser estreita para muitos dos materiais e o seu preço elevado. Uma outra limitação prende-se com o custo elevado de lasers de alta potência e custos associados à segurança necessária para os manusear. Como consequência, não é uma tecnologia de grande expressão para utilizadores individuais, mas tem despertado cada vez mais o interesse do sector industrial.

A importância de utilizar “materiais industriais” para fabricação aditiva não se restringe só a polímeros. Assiste-se desde 2010 à transição da prototipagem rápida para a manufatura aditiva de componentes funcionais, apesar de que a manufatura em larga escala de peças metálicas continua a ser considerada a próxima fronteira da MA. A capacidade de eliminar completamente as ferramentas do ciclo de produção e fabricar peças metálicas diretamente, gerou um interesse grande

por parte do sector industrial. No entanto, os componentes metálicos manufaturados por LS são frequentemente porosos e requerem subsequentes pós-sinterização / tratamentos térmicos, para obter propriedades úteis.

Neste contexto, uma evolução mais recente da mesma tecnologia e designada por Fusão a laser (LM – *laser melting*) ou Fusão seletiva a laser (SLM – *Selective Laser Melting*) tem a capacidade de fundir completamente o material, contrariamente à sinterização do pó. Com o seu início em 1995 no Instituto Fraunhofer ILT, em Aachen na Alemanha, a fusão seletiva a laser (SLM) é também conhecida como sinterização direta a laser de metal (DMLS – *Direct metal laser sintering*) ou fusão a laser de pó (LPBF – *Laser powder bed fusion*) e desenvolvida para o processamento por MA de metais. Na Fusão seletiva a laser, camadas finas de pó metálico fino (ou ultrafino) são distribuídas uniformemente sobre uma placa (substrato ou suporte, geralmente metálico), que se move no eixo vertical (Z). Uma vez distribuída a camada, cada fatia 2D da geometria da peça é fundida com o laser, direcionado segundo X e Y. A potência do laser é suficiente para garantir a fusão completa das partículas do pó metálico, para formar um sólido metálico com a geometria previamente definida. O processo é repetido, camada após camada, até a peça estar completa (**Figura 1**). Todo o processo ocorre no interior de uma câmara, cuja atmosfera de gás inerte, com teores de oxigênio < 500 partes por milhão, é rigorosamente controlada [14].

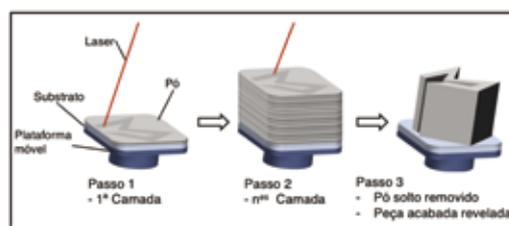


Figura 1
Representação esquemática do conceito da técnica de SLM: 1 – o laser de alta potência funde áreas seletivas do leito de pó; 2 – o processo é repetido para camadas sucessivas; 3 – o pó solto é removido e a parte acabada é revelada. (Reproduzido de [14] com a permissão de AIP Publishing).

Este processo requer, no entanto, um laser de alta potência para fundir os pós metálicos, mas geralmente elimina a necessidade de pós-sinterização. Embora o acabamento e a precisão da superfície sejam considerados muito bons, as peças possuem tensões internas elevadas, causadas pelos gradientes térmicos induzidos durante o

processamento e, portanto, requerem um tratamento térmico pós-conformação. O fator distintivo do SLM de outras tecnologias de MA de base pó é a capacidade de induzir a fusão do pó, permitindo assim um elevado grau de homogeneidade composicional e microestrutural e controlo da porosidade final do objeto. Teoricamente, SLM produz peças metálicas totalmente densas e com as mesmas características do pó que lhe deu origem. Todos estes aspetos são de particular relevância do ponto de vista tecnológico. Tal como para os sistemas poliméricos, uma das vantagens é que, em teoria, uma grande variedade de materiais metálicos pode ser processada por SLS e SLM. E todos estes aspectos são de particular relevância do ponto de vista tecnológico.

SLS, SLM e DMLS são tecnologias que fazem parte do grupo de fusão em cama de pó (*Powder Bed Fusion*), à qual também pertence a técnica de EBM (Fusão por feixe de eletrões, *Electron beam melting*). A diferença entre as várias técnicas reside, essencialmente, na fonte de energia. No caso do SLS, SLM e DMLS a fonte de energia é um laser, que poderá ser de CO₂, de estado sólido de Nd:YAG, de fibra dopada com Yb e de Excímeros. Estes lasers diferenciam-se essencialmente pela eficiência (destacando-se o laser de fibra dopada com Yb com uma eficiência de 10-30%), na potência (no qual o CO₂ se destaca com um máximo de 20 kW) e no seu comprimento de onda (que é essencial na absorvância do material a ser impresso) [15].

Para materiais com baixa absorvância nos comprimentos de onda dos lasers acima mencionados, a fonte de energia para a fusão ser um feixe de eletrões, como no caso do EBM, pode ser relevante. Em quase tudo o processo é similar aos anteriores. Tem sido também referido que, comparativamente a SLM (ou DMLS), EBM caracteriza-se por velocidades de construção mais elevadas, o que se relaciona com a densidade de energia superior associada ao feixe de eletrões e às técnicas de varrimento acopladas. Atualmente, os materiais comerciais para EBM incluem titânio, ligas de titânio como Ti-6Al-4V, CoCr e ligas austeníticas à base de níquel – cromo (Inconel). A adequação do processamento às ligas de titânio, justifica o grande interesse atual do mercado de implantes médicos por esta tecnologia [16]. Para mais informação sugere-se a consulta das referências [17-19].

EXTRUSÃO DE MATERIAL

(MATERIAL EXTRUSION)

Outra tecnologia que foi desenvolvida relativamente cedo (em 1992) e é, sem dúvida, a tecnologia de MA mais usada, é designada por manufatura por Filamento fundido ou Modelação por deposição de fundido, FFF / FDM® (*Fused Filament Fabrication / Fused Deposition Modelling*) [20] e encaixa-se na categoria de Extrusão de material (*Material Extrusion*). Criada e patenteada por Scott Crump (US Patent 5121329, 1992) [21] FFF/FDM é propriedade da empresa Stratasys. A tecnologia de FFF / FDM® recorre à deposição de um filamento contínuo de um material termoplástico (como policarbonato (PC), acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) ou ácido polilático (PLA)), por extrusão através de um bocal aquecido. É uma tecnologia de MA que usa um filamento contínuo de um material termoplástico. O filamento é alimentado a partir de uma bobina e através de uma cabeça de extrusão aquecida e em movimento, e é depositado no objeto em impressão (**Figura 2**). As camadas são fundidas em conjunto após cada deposição, já que o material está no estado fundido. A velocidade de extrusão, a temperatura e a velocidade de deslocação da cabeça de impressão são controladas através de um computador, para depositar seletivamente o material numa plataforma de construção ou camadas anteriores, fundindo uma camada sobre a outra. A cabeça de impressão é movida sob o controlo do computador de modo a imprimir a forma definida. Normalmente, a cabeça move-se em duas direções para depositar um plano horizontal ou camada de cada vez; a plataforma ou a cabeça de impressão são então movidos verticalmente para iniciar uma nova camada [22]. Recentemente, muitas das patentes originais desta tecnologia expiraram. Devido em parte à relativa simplicidade e à disponibilidade de materiais de baixo custo, as tecnologias de extrusão termoplástica são agora relativamente baratas. O preço baixou o suficiente para que as impressoras de FFF / FDM sejam agora acessíveis ao público em geral. São vários os projetos e empresas que desenvolvem atualmente impressoras para uso de bancada doméstico. De referir que, desde o final de 2018 as impressoras do estilo RepRap* (RepRap é a abreviatura de *replicating rapid prototyper*) estão disponíveis em forma de kit *on-line*, com todas as peças necessárias para fazer uma impressora, muitas vezes incluindo arquivos eletrónicos para impressão de teste, bem como uma pequena quantidade

de filamento de PLA.

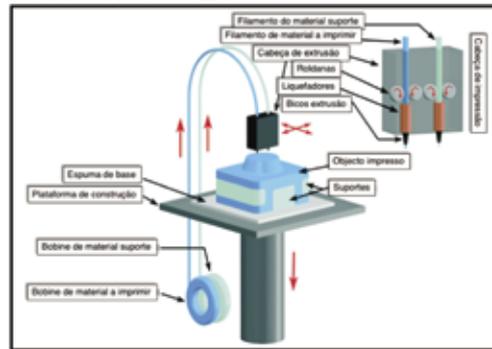


Figura 2

Esquema representativo de máquina de impressão por deposição de fundido (FFF / FDM). O material de construção (por ex polímero ABS) é inserido no bico, que é aquecido e instruído para criar e construir uma estrutura camada por camada. A impressora funciona continuamente a partir da parte inferior até que a camada superior esteja completamente formada. (Reproduzido de [22] com a permissão Innovare Academic Sciences Pvt. Ltd.).

Nesta mesma categoria de processos de MA, a Extrusão de materiais, dever-se-á destacar a tecnologia de *Robocasting*, como uma técnica que permite a impressão de pastas. Apesar do desenvolvimento exponencial da MA de materiais poliméricos e, mais recentemente, metálicos, as soluções existentes para materiais cerâmicos são ainda muito limitadas [23]. As razões por trás deste facto prendem-se com as particularidades dos materiais cerâmicos e o seu processamento, designadamente, a refractariedade e a necessidade de elevadas temperaturas de sinterização (normalmente >1000 °C) para consolidação da forma. Por outro lado, a família dos cerâmicos avançados (estruturais e funcionais) tem, hoje em dia, um papel fundamental em aplicações de vanguarda hoje em dia (nomeadamente aplicações eletrónicas, médicas, aeroespaciais e aeronáuticas, entre outras). No entanto, a simplicidade geométrica imposta pelos processos tradicionais de processamento de cerâmicos (prensagem, extrusão, contramoldagem, enchimento), limitam drasticamente a sua utilização, para além da procura da engenharia atual. Considera-se assim, que o desenvolvimento da MA de cerâmicos, permitindo o desenvolvimento de estruturas até hoje não possíveis, catapultará a sua aplicação para áreas desconhecidas abrindo rumo a novos mercados. São assim necessárias soluções específicas para a MA de cerâmicos.

O *Robocasting* (também conhecido como *Direct Ink Writing* (DIW) ou Extrusão robótica de material), é precisamente o que se considera ser uma destas soluções [23]. É uma técnica de MA na qual um filamento

de uma pasta (também designado por tinta) é extrudido por um pequeno bocal, enquanto este se movimenta sobre uma plataforma. Ao contrário da técnica de FFF / FDM®, o *Robocasting*, permite imprimir materiais que são difíceis de obter na forma de filamento e, tal como no FFF / FDM®, o objeto é construído "escrevendo" a forma final camada por camada. A tinta (ou pasta) sai do bocal em estado visco-plástico e, de acordo com as características reológicas da pasta, mantém a sua forma, não dependendo da solidificação ou secagem, para reter a sua forma após extrusão. A técnica foi desenvolvida nos Estados Unidos da América em 1996, (patente US 6027326) [24] como um método para manufaturar aditivamente corpos verdes cerâmicos geometricamente complexos. Após impressão a peça é tipicamente muito frágil. Secagem, queima de ligantes e sinterização são os passos que se seguem para dar à peça as propriedades mecânicas necessárias. Dependendo da composição e reologia da pasta, velocidade de impressão e ambiente de impressão, a técnica de *Robocasting* permite a manufatura de objetos de estrutura intrincada (com regiões onde a estrutura não é suportada por baixo), difíceis de preparar por outras técnicas de MA [23]. Estruturas complexas podem assim ser fabricadas (**Figura 3**).

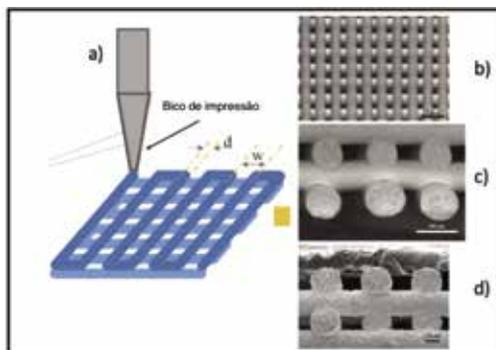


Figura 3
1. Representação esquemática da tecnologia de *Robocasting*: cabeça de extrusão e material depositado. 2. Microestruturas de cerâmicas de $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Zr}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3$ não sinterizados (2.a e 2.b) e sinterizados a $1350\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 h, preparados por *Robocasting* (Reproduzido de [25] com a permissão de John Wiley & Sons, Inc).

Pastas "fugitivas" facilmente removidas por posterior tratamento, podem também ser utilizadas para manufaturar estruturas com diferentes orientações. Estruturas cerâmicas com esta complexidade e mesmo heterogeneidades a nível orientacional, revelam-se muito promissoras para aplicações como catalisadores e filtros, eletrônica passiva, eletrólitos de células de combustível, transplantes ósseos, entre

outras aplicações. Além da fabricação de material multi-cerâmico, o *Robocasting* permite também a impressão de materiais poliméricos e materiais metálicos, tornando-se uma ferramenta interessante para a exploração da manufatura de estruturas à base de materiais compósitos.

Associado ao *Robocasting*, surgem normalmente várias etapas de pós-conformação com vista à eliminação de ligantes e sinterização. Uma das limitações desta técnica reside no seu acabamento superficial, geralmente inferior ao das peças obtidas por FFF / FDM®, consequência das espessuras de camada superiores de camada.

Há um outro grupo de processos de MA de interesse tecnológico e comercial designado por Jato de ligante (*Binder Jetting*). A impressão a jato foi desenvolvida e patenteada por um grupo de investigadores do MIT, Emanuel Sachs e colaboradores em 1993 (US Patent 5204055, 1993) [26] e foi rapidamente comercializada por várias empresas no início dos anos 90.

JATO DE LIGANTE (*BINDER JETTING*)

O *Binder Jetting* é um método versátil de impressão de materiais em pó. Qualquer material em pó que possa ser sintetizado, depositado e aglutinado com um ligante pulverizável pode ser usado, incluindo gesso, areia, metal e cerâmicas. Na MA dos pós cerâmicos, o corpo em verde resultante é sinterizado (e o ligante pirolisado) para obter o cerâmico final. A impressão por BJ começa com a deposição de uma camada de pó na plataforma de construção. De seguida, as cabeças de impressão varrem o pó, largando seletivamente e, de acordo com o desenho CAD, as gotas do agente ligante. Assim que toda a primeira camada do objeto tenha sido ligada com o agente ligante, a plataforma de construção move-se para baixo, a distância correspondente a uma camada de altura, e uma nova camada de pó é depositada; esta sequência é repetida até que a peça esteja conformada. Quando o processo de impressão termina, as peças são retiradas do pó e limpas. Como consequência do processo, os objetos de cerâmica manufaturados por BJ têm baixa resistência mecânica após conformação. As peças de BJ são por isso pós-processadas usando várias técnicas.

A tecnologia de BJ tem-se revelado com uma das tecnologias mais apropriadas para a MA

de cerâmicos e tem vantagens distintas em comparação com outros métodos, porque permite o uso de o uso de matérias primas na forma de pó e o leque alargado de opções para seleção das matérias-primas é alargado [27]. Teoricamente, qualquer pó cerâmico pode ser usado para preparar pré-formas cerâmicas através do método de BJ. Como consequência do processo, os objetos de cerâmica manufaturados por BJ têm baixa resistência mecânica após conformação. A precisão e resistência mecânicas das peças cerâmicas estão intimamente relacionadas com o pó, ligante, parâmetros de impressão, equipamentos e pós-tratamento. Para além dos materiais cerâmicos, o BJ é também uma tecnologia apropriada para manufatura de metais, quando combinado com uma etapa de pós sinterização ou de infiltração. As tecnologias de impressão a jato têm também sido usadas para depositar resinas fotossensíveis, que são posteriormente curadas por uma fonte de luz UV. Uma mais valia desta tecnologia é a possibilidade de imprimir vários materiais ou cores numa única camada, ou o fabrico de produtos com materiais funcionalmente diferentes, em que a composição dos componentes varia gradualmente de material para material, resultando em propriedades únicas, que não podem ser de forma alguma conseguidas de outro modo. Para mais informação consultar a referência [28].

Do ponto de vista dos materiais, as tecnologias de MA podem também ser agrupadas pelo estado físico da matéria a manufaturar, nomeadamente, à base de líquido, à base de pó e à base do sólido, como proposto por Neil Hopkinson and Phill Dickens [29] (**Figura 4**).

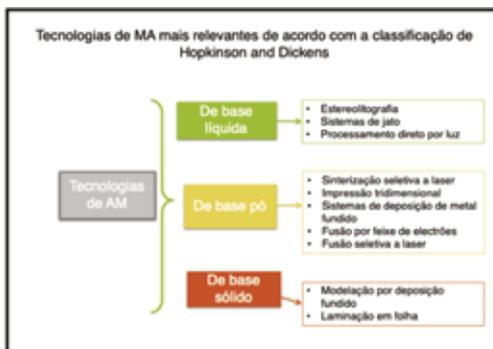


Figura 4

Tecnologias de MA mais relevantes de acordo com a classificação de Hopkinson and Dickens [29], agrupadas pelo estado físico da matéria a manufaturar.

Como assiste a qualquer processo de manufatura, a qualidade da peça fabricada vai depender de vários parâmetros, sendo os mais relevantes os que se prendem

com a natureza da matéria a manufaturar e a tecnologia de MA selecionada e suas variáveis. Quais deverão então ser os critérios a considerar para a escolha acertada da tecnologia?

A **Figura 5** ilustra uma comparação das várias classes de processos de MA em relação à resolução, velocidade de impressão e incorporação de energia. Os valores apresentados são meramente representativos, pois dentro de cada classe há técnicas com funcionamento diferente que influenciam os parâmetros em análise. De qualquer forma é claro que, se a resolução for um critério eliminatório, os processos a considerar devem ser BJ, MJ ou VP. Por outro lado, se o critério mais relevante for a velocidade de fabrico, então BJ e DED deverão ser as escolhas. Por último, se o consumo energético (associado à etapa de manufatura) tiver que ser tido em conta, nesse caso, as escolhas recairão sobre BJ e ME. A seleção do processo deverá considerar também a qualidade do acabamento superficial pós-manufatura, a necessidade de pós-tratamento e o tempo de fabrico.

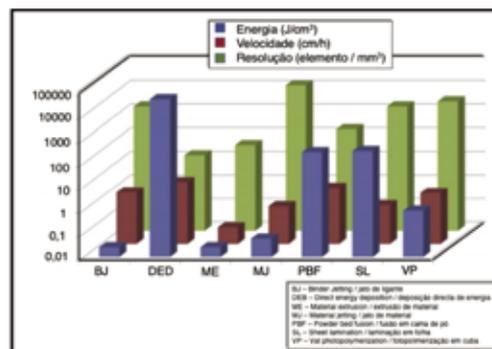


Figura 5

Comparação das várias classes de processos de MA relativamente à resolução, velocidade de impressão e incorporação de energia. Estes valores são meramente representativos, pois dentro de cada classe há técnicas com funcionamento diferente que influenciam os parâmetros em análise (Reproduzido de [30] com a permissão de Elsevier).

OS MATERIAIS PARA A MANUFATURA ADITIVA

Os materiais são uma parte integrante e condicionadora das tecnologias de MA.

O crescimento da venda de materiais para MA está documentado na **Figura 6**. Desde 2009, quando começaram a cair as primeiras patentes, que se nota o crescimento do consumo de materiais para MA. No entanto, é em 2014 que esse crescimento se torna exponencial e que se associa ao ano em que grande parte das patentes de MA relevantes

caem em domínio público. Este crescimento é acompanhado de igual variação para as vendas de equipamentos e serviços [30]. Em 2018 o mercado mundial de materiais para MA era de 1,495 mil milhões de dólares, o que representou um aumento de 31% em relação aos 1,134 mil milhões de dólares gastos em 2017. A **Figura 7** apresenta o mercado de materiais para MA de 1,495 mil milhões de dólares em 2018 segmentado por tipos de materiais. Assim, o maior segmento corresponde aos fotopolímeros, o que se relaciona diretamente com o estado de maturidade das tecnologias que os utilizam e as aplicações. Pós e filamentos de termoplásticos são o segundo segmento mais vendido. Os metais têm estado presentes desde o início das tecnologias de MA e representam o terceiro segmento, com cerca de 17,4% do total. O segmento "outros" inclui os materiais cerâmicos e representa apenas 2,2 % do mercado global.

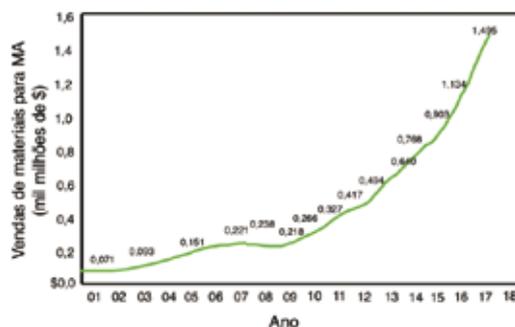


Figura 6
Vendas de materiais para MA, entre os anos 2000 a 2018. (Source Wohlers Associates, Inc Report 2019) [31].

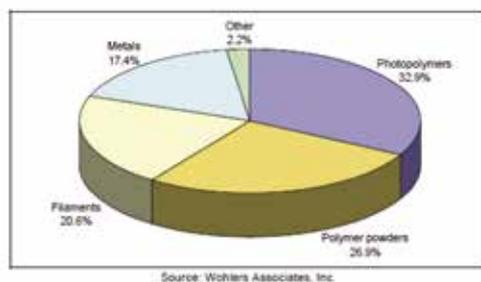


Figura 7
Tipos de materiais para MA mais vendidos em 2018 (Source Wohlers Associates, Inc Report 2019) [31].

Assim, metais e polímeros são atualmente os dois grandes grupos de materiais mais usados pela indústria da MA; o que se prende, por um lado, com a adequabilidade destes materiais a um leque alargado das atuais tecnologias de MA e, por outro lado, com as aplicações. A MA de materiais poliméricos resulta, quase sempre, em produto acabado

com recurso limitado a etapas de pós-processamento. Apesar de não ser esta a realidade para os materiais metálicos, a sua "trabalhabilidade" por MA é já importante e, por recursos a técnicas como SLM e outras, obtêm-se quase produto acabado, ou com recurso a poucas etapas posteriores de finalização. Ao passo que, nenhuma destas é a realidade da MA dos materiais cerâmicos, devido à dificuldade de processamento nas atuais tecnologias e, por consequência, às etapas de pós-conformação necessárias para atingir as propriedades pretendidas. Apesar do enorme potencial, os materiais cerâmicos são na atualidade o grupo de materiais com menor expressão na MA. Neste quadro de crescimento exponencial associado à MA, a procura de materiais compósitos e cerâmicos também vindo a aumentar, com ênfase em cerâmicos técnicos, como alumina e zircónia, e também de materiais para aplicações biomédicas, como hidroxiapatite.

Se a MA se tornar uma ferramenta de produção comercialmente relevante para a fabricação de componentes funcionais, como previsto, será necessária uma maior panóplia de materiais; isto porque, para certas tecnologias há sem dúvida escassez de materiais.

A MANUFATURA ADITIVA E A INDÚSTRIA

Em meados do século XIX, a manufatura artesanal era a principal (ou única) forma de produzir objetos, o que significa que a variedade de produtos era muito limitada e com um custo elevado (Figura 8). Com a evolução observou-se, no início do novo século, a passagem para a produção em massa, com o principal objetivo de produzir mais e diminuir os custos de produção.

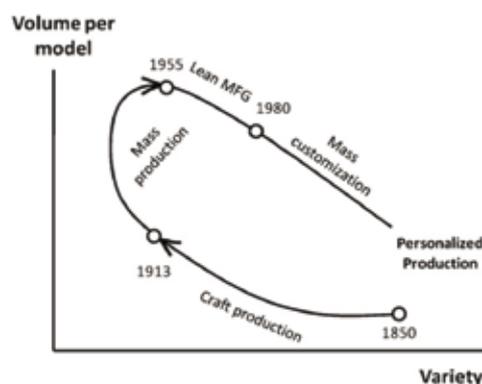


Figura 8
Evolução dos paradigmas de manufatura [32].

De forma a responder à crescente tendência de individualizar produtos, nos anos 80s o padrão da manufatura evoluiu para a personalização. Apesar de produzidos em massa, o cliente final tinha ainda a possibilidade de escolher algumas (apenas algumas) características dos produtos; é um bom exemplo a cor dos carros. Com o aparecimento da MA no final do século XX, o paradigma da produção muda radicalmente e a evolução passa pela massificação da customização total do produto. Embora com semelhanças com a produção artesanal, devido aos produtos altamente personalizados e diferenciados, a diferença prende-se com o custo do produto e o tempo de produção, os quais, com a implementação previsível na indústria da MA, continuarão a descer nos anos vindouros [33].

Para fabricar um objeto há 5 grandes vias: a da junção (p.ex. soldadura), a do tratamento superficial (p.ex. revestimento), a aditiva (p.ex. sinterização selectiva por laser (SLS)), a subtrativa (p.ex. maquinação) e a formativa (p.ex. injeção). Considerem-se os processos aditivos, subtrativos e formativos e comparem-se (**Figura 9**). As tecnologias aditivas adicionam material, camada a camada, para formar o objeto. As tecnologias subtrativas começam com um bloco, do qual se remove material, até se formar o objeto. Nas tecnologias formativas, a forma do objeto é dada por uma ferramenta, usualmente um molde, e o material é moldado a esta forma.

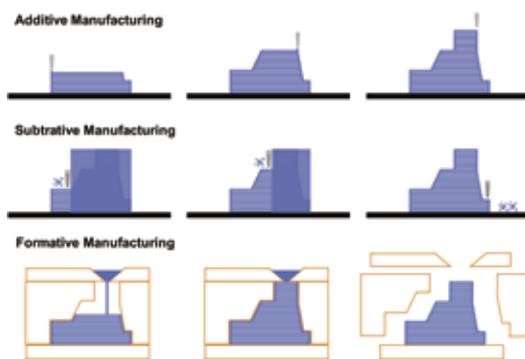


Figura 9

Comparação do princípio de funcionamento entre processos aditivos, subtrativos e formativos.

A diferença entre os processos aditivos e subtrativos reside no gasto de material necessário para produzir a mesma peça. Relativamente à comparação entre processos aditivos e formativos, a principal diferença será no custo por objeto e na complexidade da peça a produzir (**Figura**

10), onde no caso dos processos formativos o preço por ferramentaria pode aumentar, exponencialmente, com o aumento da complexidade da forma. Para os processos aditivos o preço por objeto é independente do número de objetos a produzir, bem como da sua complexidade geométrica.

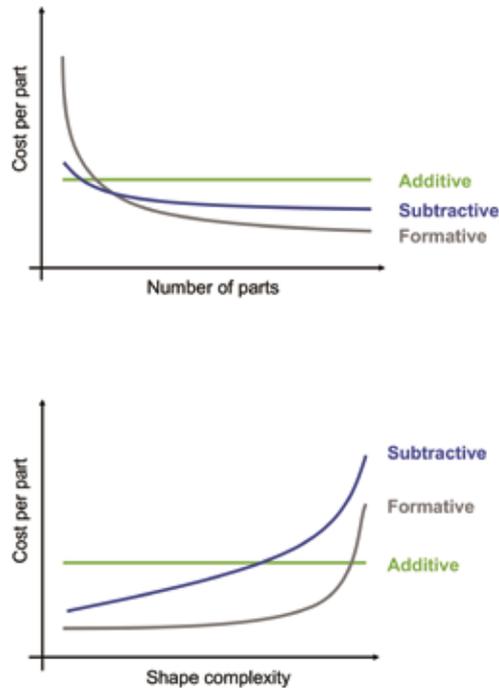


Figura 10

Evolução do custo por objeto das tecnologias aditivas, subtrativas e formativas, em função do número de objetos a produzir e da complexidade da forma do objeto. (Adaptado de Hopkinson e Dickens [29]).

Cada tecnologia de MA possui restrições de fabricação associadas à tecnologia de impressão de *per se*, ao material usado e às funções esperadas (estética, mecânica, uso, etc). No entanto, apesar destas limitações, do grande caminho a percorrer e barreiras a ultrapassar, na última década muitas indústrias disfrutaram já das vantagens destas tecnologias, para fabrico de produtos de alto valor acrescentado. Áreas que usam tecnologias de MA para produzir objetos / produtos de alto valor acrescentado incluem as indústrias aeronáutica e aeroespacial, automóvel, artes, e de dispositivos médicos [34].

A **Figura 11** apresenta a distribuição, por setores das indústrias utilizadoras de MA em 2018, na qual se destacam os setores da maquinaria industrial, com uma quota de 19,8% do mercado mundial, dos veículos motorizados, com 19,6 %, da indústria aeroespacial, com 17,7%, da indústria de produtos consumíveis e eletrónica, com 13,6%, e da indústria médica, com 11,5%,

nas quais os produtos devem ser altamente diferenciados. A aplicabilidade a estas indústrias relaciona-se com: i) o número de produtos; por exemplo, na indústria aeroespacial constroem-se poucos vaivéns em cada década (por vezes apenas um) e, por isso, há vantagens em poder produzir uma peça de geometria específica por MA, sem ter que investir em ferramentaria, ou ii) com a especificidade do objeto, como é o caso da indústria médica, em que, por exemplo, as próteses são produzidas especificamente para cada paciente.

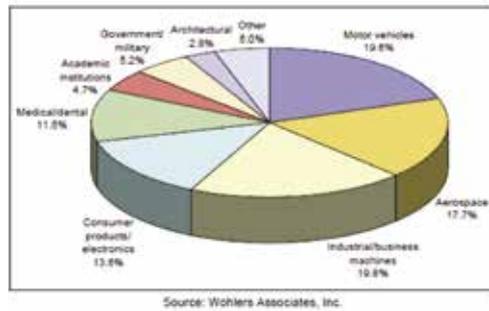


Figura 11
Indústrias “consumidoras” de MA. (Source Wohlers Associates, Inc Report 2019) [31].

Os fabricantes de automóveis exploraram a tecnologia por causa da sua capacidade de ajudar novos produtos a chegar rapidamente ao mercado.

As empresas aeroespaciais e aeronáuticas estão interessadas nessas tecnologias por causa da sua capacidade de manufaturar produtos altamente complexos e de elevado desempenho. Com as tecnologias de MA é possível integrar a funcionalidade mecânica com funcionalidades internas (como os canais de arrefecimento, estruturas internas do tipo alveolar, novas estruturas de otimização topológica), eliminando recursos de montagem e para criar estruturas leves, algumas únicas, fundamentais neste setor industrial. As indústrias médicas estão particularmente interessadas na tecnologia de MA devido à facilidade com que os dados de imagens médicas 3D podem ser convertidos e transformados em objetos sólidos, capazes de ser implantados num paciente. Desta forma, os dispositivos podem ser personalizados de forma a responder às necessidades de um paciente individual.

OPORTUNIDADES, TENDÊNCIAS E FUTURO DA MANUFATURA ADITIVA

Tendo começado como uma ferramenta de engenharia para ajudar e acelerar o processo de desenvolvimento de produto - prototipagem rápida, a fabricação camada a camada rapidamente mostrou o seu impacto a nível do fabrico. Este reconhecimento torna-se óbvio após o período de carência, imposto pela proteção da propriedade intelectual, das patentes que lhe estão associadas. Atualmente, um grande número de processos de MA está já disponível.

De 8,44 mil milhões em 2018, o mercado global de MA deve crescer para 36,61 mil milhões de dólares até 2027, a taxa anual composta de 17,7% *Reportbuyer, UK, May 2019*. O crescimento económico global constante e consistente é responsável pelos desenvolvimentos na indústria da manufatura. Por outro lado, a indústria atravessa de momentos de revolução tecnológica com uma premente necessidade de se ajustar os objetivos mundiais da Agenda para a Sustentabilidade 2030. É precisamente neste enquadramento, que estamos a assistir à implementação dos processos aditivos, como tecnologia de fabrico. Países da Ásia-Pacífico, como China, Japão, Índia, Singapura e Coreia, identificaram o potencial da MA e, portanto, estão já a implementar as tecnologias de MA nos seus processos de produção em massa. Espera-se que este fator seja determinante no impulso ao mercado da MA.

De acordo com dados estatísticos as tecnologias de MA mais utilizadas em todo o mundo, em julho de 2018 estão representadas na **Figura 12**, salientando-se a implementação das tecnologias de Modelação por deposição de fundido (FDM), com uma quota de mercado de 69% e os 12 % dessa mesma quota ocupados pelas técnicas aditivas de sinterização por laser.

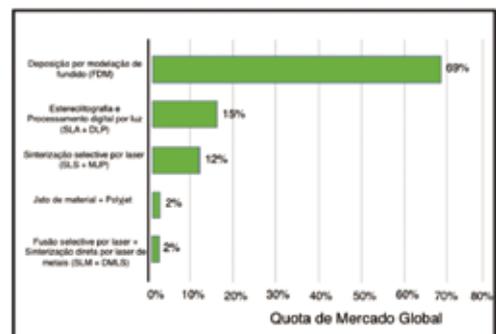


Figura 12
Tecnologias de MA mais utilizadas universalmente, em julho de 2018. (Source: Statista).

Estes estudos, baseados na literatura

técnico-científica, patentes, estudos de mercado e contato com utilizadores e fornecedores, revelam que as tendências futuras em termos de MA, são claramente:

1. Da prototipagem para a produção em série: esta é talvez a tendência mais óbvia, já iniciada e que se acentuará na próxima década. Existe uma conjuntura de fatores, tecnológicos (como o desenvolvimento da técnica / equipamentos / custos), económicos e sociais (como definidos na *Agenda for Sustainable Development 2030*), que estão a alterar o panorama industrial, como o conhecemos hoje. Após a primeira fase da MA, quase exclusivamente prototipagem e a segunda etapa, caracterizada por menores custos e acessibilidade através do código aberto, inicia-se agora a terceira etapa: a penetração alargada da MA em várias indústrias, não só como prototipagem, mas como processo de fabrico de produto final. Esta tendência será acompanhada do aparecimento de tecnologias de suporte que aumentem a qualidade dos produtos, a produtividade e, consequentemente, diminuam custos, rumo à massificação da MA.

2. MA de Metais: uma outra tendência clara é a industrialização MA de metais, que será cada vez mais usada na produção em série, já que se tornará mais barata, mais fácil de usar, produzindo produtos não existentes e de de melhor qualidade; a título de exemplo veja-se a realidade, hoje, da produção por SLM de postigos, com canais curvos, para moldes de injeção.

3. Fabricação híbrida: esta é uma das outras direções a nível industrial e refere-se à combinação das tecnologias subtrativas com as aditivas; combinação esta a nível da unidade fabril e a nível de um mesmo produto. A MA conferirá a complexidade e precisão não conseguidas com as tecnologias subtrativas tradicionais.

4. Novos materiais: a evolução do setor de MA na área médica, em particular na engenharia de tecidos, catapultará num futuro próximo, o aparecimento de uma panóplia alargada de novos materiais (materiais inteligentes, responsivos, híbridos, meta estáveis) para a bioimpressão (tecidos humanos, entre outros).

5. Revolução do design: porque existem detalhes estruturais, de materiais ou sistemas, difíceis de serem criados pela mão humana, há uma tendência para o desenvolvimento de *software* específico para estas necessidades;

Para além da continuação da personalização em massa, consolidação da automação e um incremento das parcerias industriais, à semelhança do que acontece com a interdisciplinaridade nas áreas do conhecimento científico e académico.

Uma das áreas que tem crescido em interesse é a impressão 4D, tecnologia batizada por Skylar Tibbits em 2014 [36]. A impressão 4D é baseada na impressão 3D, que usa materiais especiais e designs sofisticados que são “programados” para que o objeto após impressão mude a sua forma. Mas qual é a quarta dimensão? A resposta é que a quarta dimensão é uma solicitação externa ao objeto (humidade, temperatura, campo elétrico), que faz com que este adapte a sua forma, de um modo semelhante às ligas de memória de forma. Esta resposta por parte do objeto pode ser baseada no seu design ou no tipo de material. As aplicações na área biomédica, aeroespacial e militares, como por exemplo em revestimentos inteligentes, que modifiquem a sua estrutura consoante solicitações externas, têm sido recentemente documentadas [37].

As tecnologias de *Bioplotting* (também muitas vezes designadas por *Robocasting*), permitem a impressão de tecidos orgânicos, em ambientes controlados o que pode ser uma limitação em outras técnicas de extrusão de material. Nesta tecnologia destaca-se também a baixa quantidade de material necessário para pequenas impressões, sendo importante esta característica pelo preço e disponibilidade dos materiais envolvidos.

Uma área de crescimento acentuado, é a da Bioimpressão, com um mercado que deverá atingir os 4 mil milhões de dólares em 2026 e com uma taxa anual composta de crescimento de 19,5% [6].

A Bioimpressão é um processo de MA onde biomateriais, como células e fatores de crescimento, são combinados para criar estruturas semelhantes a tecidos que imitam os tecidos naturais. A tecnologia usa materiais designados por *bioink* para criar estruturas camada por camada. É em tudo muito semelhante à técnica de *robocasting*, no entanto, utiliza uma suspensão de células vivas em vez de um termoplástico ou uma resina. Por este motivo, para otimizar a viabilização das células, a impressão é feita em condições estéreis. O processo envolve principalmente preparação do *bioink*, Bioimpressão, maturação e aplicação. A etapa

de pré-bioimpressão envolve a criação do modelo digital que a impressora produzirá. As tecnologias utilizadas são tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (MRI). A etapa de bioimpressão corresponde ao processo de impressão do *bioink*, que foi previamente colocado num cartucho de impressora. Após impressão segue-se a estimulação mecânica e química das partes impressas, de modo a criar estruturas estáveis para o material biológico. A relevância da Bioimpressão reside nas estruturas resultantes que imitam à escala micro e macro o ambiente real dos tecidos e órgãos humanos. Isto é, por exemplo crítico em testes de fármacos e ensaios clínicos, com o potencial, por exemplo, de reduzir drasticamente a necessidade de testes em animais. A substituição de órgãos é o objetivo último da Bioimpressão, mas a reparação de tecidos também é relevante. Com o *bioink*, é muito mais fácil resolver problemas num nível específico do paciente, promovendo operações mais simples. Algumas das principais áreas de aplicação da bioimpressão, incluem manufatura de órgãos artificiais, o desenvolvimento de tecidos para testes farmacêuticos, cirurgia estética, regeneração do tecido ósseo, bem como próteses e aplicações dentárias. Para mais informação relativa à Bioimpressão consultar as referências [38-40].

CONCLUSÕES

Do nosso ponto de vista, as tecnologias de MA vieram para ficar e alterar radicalmente, para além do panorama da manufatura mundial, a sociedade em geral. Julgamos que o impacto desta alteração não é de forma alguma ainda perceptível na sua dimensão total, já que vai muito para além do modo de fabricar o objeto e da máquina que o fabrica, ou seja, do sector industrial. Implicações nos sectores da economia (sectores primário, secundário e terciário), arte, educação, ambiente, infraestruturas, ciência, saúde, relações humanas, são já documentáveis. Tratam-se de implicações drásticas transversais à sociedade como a conhecemos hoje.

A manufatura camada a camada potencia a capacidade de criar praticamente qualquer formato (difíceis ou impossíveis de fabricar por outros processos); e esta é a grande vantagem da MA. Liberdade de design e projeto, personalização em massa, minimização de resíduos, capacidade de fabricar estruturas complexas ou mesmo não existentes, prototipagem rápida, redução de tempo e custos e a grande

facilidade de interação humana, são os principais benefícios da MA. É assim uma das tecnologias da economia circular, indústria 4.0 e sociedade digitalizada.

Desenvolvida como uma ferramenta de engenharia para ajudar e acelerar o processo de desenvolvimento de produto - prototipagem rápida - a fabricação camada a camada rapidamente mostrou o seu impacto a nível do fabrico. Atualmente, um grande número de processos de MA está já disponível. E a sua adoção a nível industrial é claramente visível nos sectores de fabrico de produto de valor acrescentado, como a indústria aeronáutica e aeroespacial, automóvel e saúde. No entanto, a MA ainda não compete totalmente com a manufatura convencional.

Para superar os obstáculos atuais associados aos processos de MA, serão necessários desenvolvimentos a vários níveis: i) dos materiais (*feedstock*), com o desenvolvimento de mais materiais e novos materiais, verdadeiros *game changers*, ii) do processo, com o desenvolvimento de processos mais baratos, com velocidades de operação mais elevadas e com maior resolução e precisão, iii) da certificação, para definição de boas práticas relativas ao processo de certificação, iv) das ferramentas de design, para superar as atuais limitações do *software* e , v) das normas para produção e produto e vi) de recurso humanos, com a formação de pessoal especializado, com capacidade de diálogo tecnológico, com a criação de fóruns de discussão, oportunidades de colaboração e "polinização cruzada" de ideias.

Prever o futuro não é fácil, mas os indicadores indicam tendências crescentes de: i) integração da MA diretamente no ambiente de produção, aparecimento de soluções híbridas (MA e manufatura tradicional) como soluções imediatas para responder a atuais solicitações do mercado; ii) aumento do volume das câmaras de impressão e potências dos laser em tecnologias de pó; iii) consolidação e crescimento das técnicas de fabricação / construção de tecidos e órgãos artificiais, como tecnologia pilar na engenharia de tecidos; iv) separação do desenvolvimento de *software* do de *hardware*, com desenvolvimento de *software* altamente sofisticado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Portugal 2020 através do Fundo Europeu de

Desenvolvimento Regional (FEDER), no âmbito do Programa Competitividade Operacional Projeto *Add.Additive - add additive manufacturing to Portuguese industry, SI I&DT* – Programas Mobilizadores nº 24533, POCI-01-0247-FEDER-024533, Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto CICECO - Instituto de Materiais de Aveiro, Ref. FCT. UID / CTM / 50011/2019, financiado por fundos nacionais através da FCT / MCTES. Pedro Duarte agradece à FCT pelo apoio financeiro (SFRH/BDE/97497/2013) e às às Porcelanas da Costa Verde pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Additive Manufacturing Strategic Research Agenda, AM Platform, 2014, <http://rm-platform.com/linkdoc/AM%205RA%20-%20February%202014.pdf>.
- [2] ASTM International, F2792-12a - Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies, Rapid Manuf. Assoc. 10–12, 2013.
- [3] ISO/ASTM 52900:2015 - ASTM F2792 – Additive manufacturing - General principles – Terminology, 2015.
- [4] S. H. Huang, P. Liu, A. Mokasdar, L. Hou, *Int J Adv Manuf Technol*, 67:1191–1203, 2013.
- [5] S. V. Murphy, A. Atala, *Nature Biotechnology*, 32, 8, 773-785, 2014.
- [6] 3D Bioprinting Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology, By Application And Segment Forecasts, 2019 – 2026 Market Repport Grand View Research, Inc., February 2019.
- [7] M. K. Niaki, F. Nonino, *International Journal of Production Research*, 55, 5, 1419-1439, 2016.
- [8] B. Berman, *Business Horizons*, 55, 2, 155-162, 2012.
- [9] C. W. Hull, Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography, US4575330A Patent, 1986.
- [10] L. A. Bryant, K. P. Baldwin, R. W. Vest, R. P. Vest, Manufacture of flexographic printing plate used in liquid interphase printing, involves contacting cured layer of carrier plate with photocurable composition containing monomers in reservoir, irradiating and moving plate away from reservoir, Patent Number(s):US2018314157-A1; WO2018200136-A1, 2017 and 2018.
- [11] J. W. Halloran, *Annual Review of Materials Research*, 46, 19-40, 2016.
- [12] F. P. W. Melchels, J. Feijen, D. W. Grijpma, *Biomaterials*, 31, 24, 6121 - 6130, 2010.
- [13] G. Taormina, C. Sciancalepore, M. Messori, F. Bondioli, *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 16, 3, 151-160, 2018.
- [14] C. Y. Yap, C. K. Chua, Z. L. Dong, Z. H. Liu, D. Q. Zhang, L. E. Loh, S. L. Sing, *Applied Physics Reviews* 2, 041101-21, 2015.
- [15] H. Lee, C. H. J. Lim, M. J. Low, N. Tham, V. M. Murukeshan, Y.-J. Kim, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 4, 3, 307 – 322, 2017.
- [16] C. Koerner, *International materials Reviews*, 61, 5, 361 – 377, 2016.
- [17] T. DebRoy, H. L. Wei, J. S. Zuback, T. Mukherjee, J. W. Elmer, J. O. Milewski, A. M. Beese, A. Wilson-Heid, W. Zhang, *Progress in Materials Science*, 92, 112-224, 2018.
- [18] A. T. Sutton, C. S. Kriewall, M. C. Leu, J. W. Newkirk, *Virtual and Physical Prototyping*, 12, 1, 3-29, 2017.
- [19] S. L. Sing, W. Y. Yeong, F. E. Wiria, B. Y. Tay, Z. Zhao, L. Zhao, Z. Tian, S. Yang, *Rapid Prototyping Journal*, 23, 3, 611-623, 2017.
- [20] M. Harris, J. Potgieter, A. Richard, K. M. Arif, *Materials*, 12, 10, 1664, 2019.
- [22] A. Latief, P. Suhardi, C. Badri, *Journal of Applied Pharmaceutics*, 9, 2, 74, 2018.
- [23] E. Peng, D. Zhang, J. Ding, *Advanced Materials*, 30, 47, S1, 1802404, 2018.
- [24] J. Cesarano III, P. D. Calvert, US 6027326, 2000].
- [25] B. Nan, S. Olhero, R. Pinho, P. M. Vilarinho, T. W. Button, J. M. F. Ferreira, *Journal of the American Ceramic Society*, 102, 3191–3203, 2019.
- [26] E. M. Sachs, J. S. Haggerty, M. J. Cima, P. A. Williams, US 5204055A Patent, 1993.
- [27] X. Lv, F. Ye, L. Cheng, S. Fan, Y. Liu, *Ceramics International*, 4, 10, 12609-12624, 2019.
- [28] D. A. Snelling, C. B. Williams, C. T. A. Suchicital, A. P. Druschitz, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92, 531–545, 2017.
- [29] N. Hopkinson, R. Hague, P. Dickens, Wiley, 2005, ISBN: 978-0-470-01613.
- [30] J. Y. Lee, J. An, C. K. Chua, *Applied Materials Today* 7, 120-133, 2017.
- [31] Wohlers Associates, “Wohlers Report 2019 - Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry,” Colorado, USA, 2019.
- [32] S.J. Hu, J. Ko, L. Weyand, H.A. Elmaraghy, T.K. Lien, Y. Koren, et al., *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 60 715–733, 2011.
- [33] S. Jack Hu, *Procedia CIRP*, 7, 3-8, 2013.
- [34] D. L. Bourell, J. J. Beaman, Jr., M. C. Leu, D. W. Rosen, *Rapid Tec*, 2009.
- [35] { Hyperlink “<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>”}, julho 2019.
- [36] S. Tibbits, *Architectural Design*, 84, 1, 116-121, 2014.
- [37] J.J. Wu, L.M. Huang, Q. Zhao, T. Xie, *Chinese J. Polym. Sci.English Ed.* 36, 563–575, 2018.
- [38] S. V. Murphy, A. Atala, *Nature Biotechnology*, 32, 773–785, 2014.
- [39] F. P. W. Melchels, M. A. N. Domingos, T. J. Klein, J. Malda, P. J. Bartolo, D. W. Huttmacher, *Progress in Polymer Science*, 37, 8, 1079–1104, 2012.
- [40] S. Bose, D. Ke, H. Sahasrabudhe, A. Bandyopadhyay, *Progress in Materials Science*, 93, 45–111, 2018.



É COM SATISFAÇÃO QUE PARTILHO COM TODOS A MAIS RECENTE REORGANIZAÇÃO DAS DIVISÕES TÉCNICAS (DTS) DA SPM.

Como estatutariamente descrito, as **DTs** são órgãos especializados, que congregam os interessados em sectores específicos da **Ciência e Tecnologia de Materiais** e áreas conexas e cuja atividade contribui para a prossecução da missão e objetivos da **SPM**. Assim, as **DTs** são células vivas e nucleares da atividade da **SPM**.

As **DTs** representam importantes áreas do conhecimento e desenvolvimento em **Ciência e Tecnologia de Materiais**, proporcionando aos membros ações no seio das várias comunidades profissionais específicas, reuniões técnico-científicas e recursos, oportunidades de educação, de participação e formação de redes e plataformas e divulgação nas respetivas áreas do conhecimento. Em súpula, as **DTs** trabalham para promover o conhecimento e soluções inovadoras, expandir a profissão na área da Ciência e Tecnologia de Materiais e o desenvolvimento individual, através de atividades técnicas, educacionais e interativas.

As **DTs** fazem parte integrante da **SPM** desde a sua fundação em 1981 e as suas ações são a justificação dos fins a que se propõe a **SPM**. Por outro lado, numa sociedade global e competitiva como a que vivemos hoje, em que questões como a conservação do meio ambiente global, o declínio da taxa de natalidade / envelhecimento da sociedade, a necessidade de irradicação da pobreza, e a utilização efetiva dos recursos naturais e energéticos são prementes, é claro que abordagens globais, interdisciplinares e baseadas em soluções técnico científicas, são uma parte importante da resolução destes desafios.

É precisamente neste contexto atual, por um lado desafiador, mas por outro potenciador, e conforme decidido na Assembleia Geral de 27 de Abril de 2016, que o Conselho Diretivo da **SPM** tem estado a proceder à reorganização das **DTs**. Em consonância e colaboração com os respetivos coordenadores, procedeu-se à reorganização que passou também pela agregação das anteriores **Divisões** por áreas de atividade.

FAZEM PARTE DO ATUAL ELENCO DAS DTS DA SPM:



1.
DT de **Corrosão e Protecção de Materiais**, coordenada por Teresa Diamantino (LNEG) e Zita Lourenço (Zetacorr), que contempla conhecimento e atividade no domínio da Corrosão e Protecção de Materiais;



2.
DT de **Materiais Estruturais**, coordenada por Jorge Lino (FEUP) e Manuel Vieira (FEUP), de âmbito vasto que inclui Materiais Metálicos, Materiais Cerâmicos, Materiais Compósitos e Fratura, entre outros;



3.
DT de **Materiais Funcionais**, coordenada por Luís Pereira (FCT/UNL), Maria Helena Fernandes (UAveiro) e Maria Ascensão Lopes (FEUP)), que abrange áreas de Nanotecnologias e Biomateriais, focando nos Materiais para a Electrónica, Optoelectrónica e Dispositivos Médicos.



4.
DT de **Materiais e Energia**, coordenada por Luís Gil (DGEG) e Carlos Nogueira (LNEG), que agrega conhecimento e atividades nas áreas de Materiais e Energia, Fontes Alternativas de Energia, de Materiais de Origem Florestal e Matérias Primas e Reciclagem, e áreas afins;



5.
DT de **Engenharia de Superfícies**, coordenada por Albano Cavaleiro (FCTUC) e Ricardo Alexandre (TEandM), que inclui saber em Electroquímica de Materiais, Tratamentos Térmicos e Engenharia de Superfícies, Tribologia e áreas afins;



6.
DT de **Polímeros e Compósitos**, coordenada por Jorge Coelho (FCTUC), António Correia Diogo (IST), António Torres Marques (FEUP) e João Bordado (IST), que inclui conhecimento e desenvolvimento nas áreas de termoplásticos, elastómeros, termoendurecíveis, polímeros funcionais e respetivos sistemas compósitos.



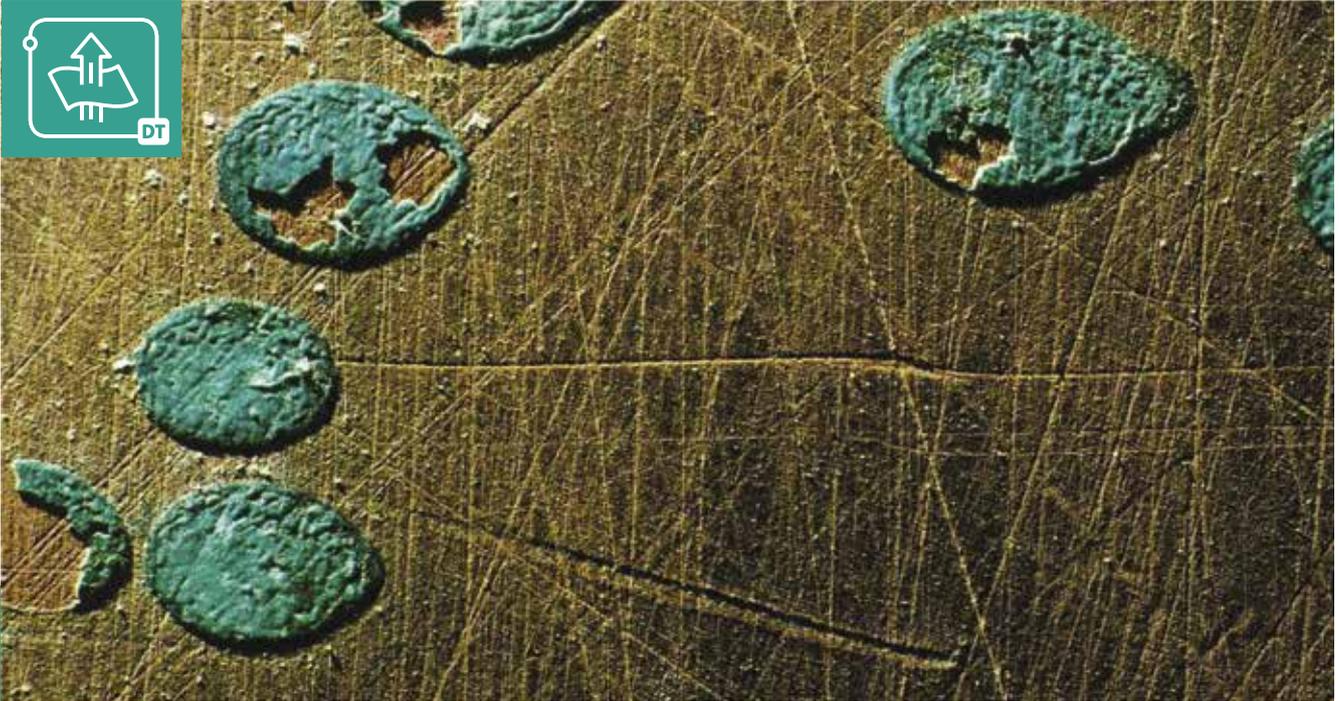
7.
A DT **J-SPM** integra os sócios da SPM com menos de 35 anos e tem como principal objetivo ser uma plataforma de contato entre os estudantes e trabalhadores na área dos materiais a nível nacional. A equipa coordenadora é composta por: Adriana Magueta; Cláudia Peixoto; Elsa Oliveira; Stephanie Soares e Tânia Azevedo

Julgamos desta forma estar à altura para contribuir ativamente para a resolução de alguns dos desafios sociais atuais, acima mencionados.

Esta missão difícil e desafiadora só será possível com a mobilização de todos e, em especial, com as DTs, cuja dinamização e empenhamento são igualmente cruciais para que a SPM atinja os seus objetivos.

POR UMA SPM MODERNA, DINÂMICA, INOVADORA E MOTOR DA MUDANÇA ...

A presidente da SPM
Paula M. Vilarinho



Teresa Diamantino (LNEG) e Zita Lourenço (Zetacorr)

A corrosão tem um elevado impacto na economia portuguesa. A missão da DTCPM na SPM, com enfoque na corrosão e protecção dos materiais, é a promoção do conhecimento, a divulgação e a cooperação por forma a minimizar os custos da corrosão.

A corrosão dos materiais, embora sendo um fenómeno natural, tem elevados impactos económicos, ambientais e de segurança. A corrosão pode afectar todos os sectores da sociedade, na preservação de infraestruturas, património arquitectónico, edifícios e monumentos, na garantia da qualidade da água, do ar e do solo, na sustentabilidade dos recursos naturais, na segurança de pessoas e bens e na saúde humana.

Estima-se que os custos directos da corrosão atinjam 3 a 4% do PIB do nosso País e que mais de 20% destes custos possam ser evitados através do conhecimento, traduzido na adequada implementação de medidas e tecnologias de controlo, de prevenção e de protecção anticorrosiva.

A DTCPM desenvolve a sua actividade tendo em conta a interligação com diferentes entidades do Sistema Científico e Tecnológico e as empresas no domínio da Corrosão e Protecção de Materiais. Tem como objetivos:

- Criar massa crítica de conhecimento no domínio da corrosão e protecção de materiais que mantenha e aumente a qualidade e a difusão dos conhecimentos actuais, com vista à tomada de consciência dos custos financeiros, económicos e sociais envolvidos, e à implementação de medidas concretas de actuação que permitam reverter os elevados custos provocados pela corrosão;
- Promover a transferência de conhecimento para as empresas através da organização de cursos de formação, reuniões, seminários, workshops ou jornadas no domínio da DTCPM;
- Reunir os profissionais interessados na redução do impacto da corrosão em Portugal;
- Desenvolver oportunidades de parcerias em rede entre associados;

ATIVIDADES REALIZADAS EM 2018

ENCONTRO TÉCNICO “CORROSÃO E PROTEÇÃO DO BETÃO”, 20 DE MARÇO DE 2018

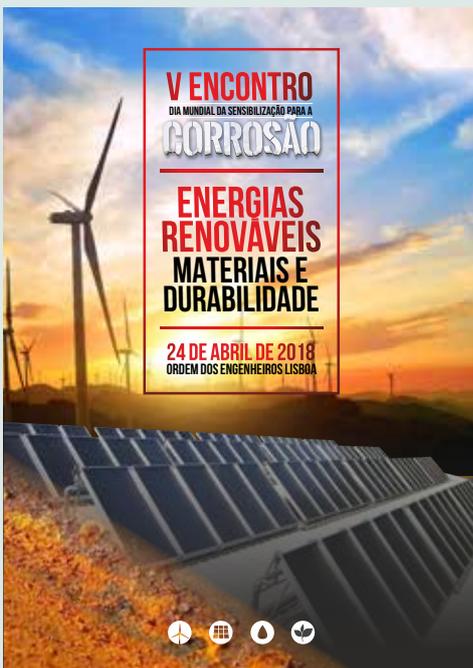
A temática da durabilidade das estruturas de betão armado não pode ser dissociada do conhecimento dos fenómenos da corrosão, sendo fundamental fomentar o debate do estado da arte das técnicas de monitorização e de protecção anticorrosiva em betão armado, bem como a sua aplicação.

Foi neste contexto que foi organizado, no dia 20 de Março de 2018, o Encontro Técnico “Corrosão e Protecção do Betão”, na Ordem dos Engenheiros (Lisboa), que contou com 91 inscrições/76 presenças

<http://www.spmateriais.pt/corrosaoeprotectao/>



V ENCONTRO DO DIA MUNDIAL DA SENSIBILIZAÇÃO PARA A CORROSÃO COM O TEMA “ENERGIA RENOVÁVEIS: MATERIAIS E DURABILIDADE”, 24 DE ABRIL DE 2018



Decorreu no dia 24 de Abril de 2018, no auditório da Ordem dos Engenheiros, em Lisboa, o V Encontro do Dia Mundial da Sensibilização para a Corrosão com o tema “Energia Renováveis: Materiais e Durabilidade”. Este evento contou com o apoio do Colégio de Engenharia de Materiais da Ordem dos Engenheiros, e foi uma excelente oportunidade para a partilha de experiências e de conhecimentos técnicos entre os vários intervenientes interessados na temática da durabilidade dos materiais usados nas diferentes tecnologias para produção de energia por fontes renováveis. Contámos com 72 inscrições e 62 presenças.

<http://www.spmateriais.pt/corrosaoeprotectao/>

MAIS ALGUMAS ATIVIDADES REALIZADAS EM 2018...



CURSO DE CONTROLO DE QUALIDADE, INSPECÇÃO E NORMALIZAÇÃO EM CORROSÃO E PROTECÇÃO DE MATERIAIS- 5ª EDIÇÃO, 6 DE OUTUBRO DE 2018

Devido à enorme receptividade que o Curso de Qualidade, Inspeção e Normalização em Corrosão e Protecção de Materiais teve nas edições anteriores, a DTCPM decidiu realizar a 5ª edição deste curso em 2018. O curso foi realizado no dia 6 de Outubro e mais uma vez teve muito bom acolhimento por parte das empresas.



ENCONTRO TÉCNICO “COMO PROTEGER O AÇO DA CORROSÃO A IMPORTÂNCIA DA NORMA EN ISO 12944 (PARTE 1-9):2017-2018”, 29 DE NOVEMBRO DE 2018

Em 2018 realizou-se mais um Encontro Técnico, no dia 29 de novembro 2018, no Campus LNEG de Alfragide.

A Norma EN ISO 12944 é a referência mundial para a definição de esquemas de protecção anticorrosiva de estruturas de aço.

A sua importância reside no facto de estabelecer esquemas de protecção anticorrosiva por pintura de acordo com o tipo de estruturas de aço, a sua localização e a durabilidade pretendida, combinando diferentes tipos de revestimentos metálicos e orgânicos, espessuras e preparação de superfícies, e em simultâneo dando indicações sobre como se prepara uma especificação e de como se realizam, acompanham e inspeccionam os trabalhos de protecção anticorrosiva por pintura.

Uma vez que as diferentes partes desta norma (EN ISO 12944 Parte 1-9) sofreram recentemente alterações significativas, foi considerado fundamental fomentar a sua divulgação e o debate através da organização conjunta com o LNEG deste encontro técnico

Este encontro técnico contou com 105 inscrições e 73 presenças.



PLANO DE FORMAÇÃO / AÇÕES DE DIVULGAÇÃO



FORMAÇÃO / ATIVIDADE	LOCAL	DATA
Dia Mundial da Sensibilização para a Corrosão " Património, materiais e conservação"	Lisboa	24 de Abril
Curso de Corrosão e Proteção de Materiais	Lisboa	Maio
Curso Controlo de Qualidade, Inspeção e Normalização em Corrosão e Proteção de Materiais	Porto	Outubro
Encontro Técnico	Lisboa / Porto	a definir



DTCPM

Divisão Técnica de Corrosão e
Proteção de Materiais.

CASO PRETENDA SABER MAIS SOBRE
A ATIVIDADE E EVENTOS DA DTCPM,
CONSULTE O SITE

[www.spmateriais.pt/
corrosaoe protecao/](http://www.spmateriais.pt/corrosaoe protecao/)



Jorge Lino (FEUP) e Manuel Vieira (FEUP)

Os materiais estruturais abrangem materiais cujo principal objetivo é transmitir ou suportar uma força, sendo os principais critérios de qualidade os parâmetros de resistência a cargas externas, tais como durabilidade, tenacidade, fiabilidade e vida útil. Estes materiais podem ser utilizados em diferentes setores, tais como nos transportes (aeronaves e automóveis), energia (lâminas de turbinas, pás de aerogeradores), construção (estruturas metálicas, edifícios e pontes), componentes para proteção do corpo (capacetes, joelheiras, coletes), ou outras estruturas mais pequenas, como as utilizadas na microeletrónica.

A Divisão tem como objetivo promover e divulgar o conhecimento relativo aos Materiais Metálicos, Poliméricos, Cerâmicos e Vidros, Compósitos e Materiais Naturais e ao seu processamento.

Pretende-se concentrar a atenção nas relações entre a estrutura química e física dos materiais e suas propriedades e desempenho. Independentemente do tipo de material, pretende-se fomentar a compreensão das relações estrutura-

propriedade, que fornecem uma base científica para o desenvolvimento de materiais de engenharia para aplicações avançadas. A pesquisa fundamental e aplicada neste campo responde a uma procura crescente de materiais inovadores e com melhor desempenho.

Em outubro de 2018 foi realizado o “Seminário Técnico AM (Additive Manufacturing)”, organizado no âmbito da SPM e Ramada Aços. O Seminário decorreu na FEUP, tendo contado com 80 participantes.





Em 2019, realizaram-se as seguintes atividades:

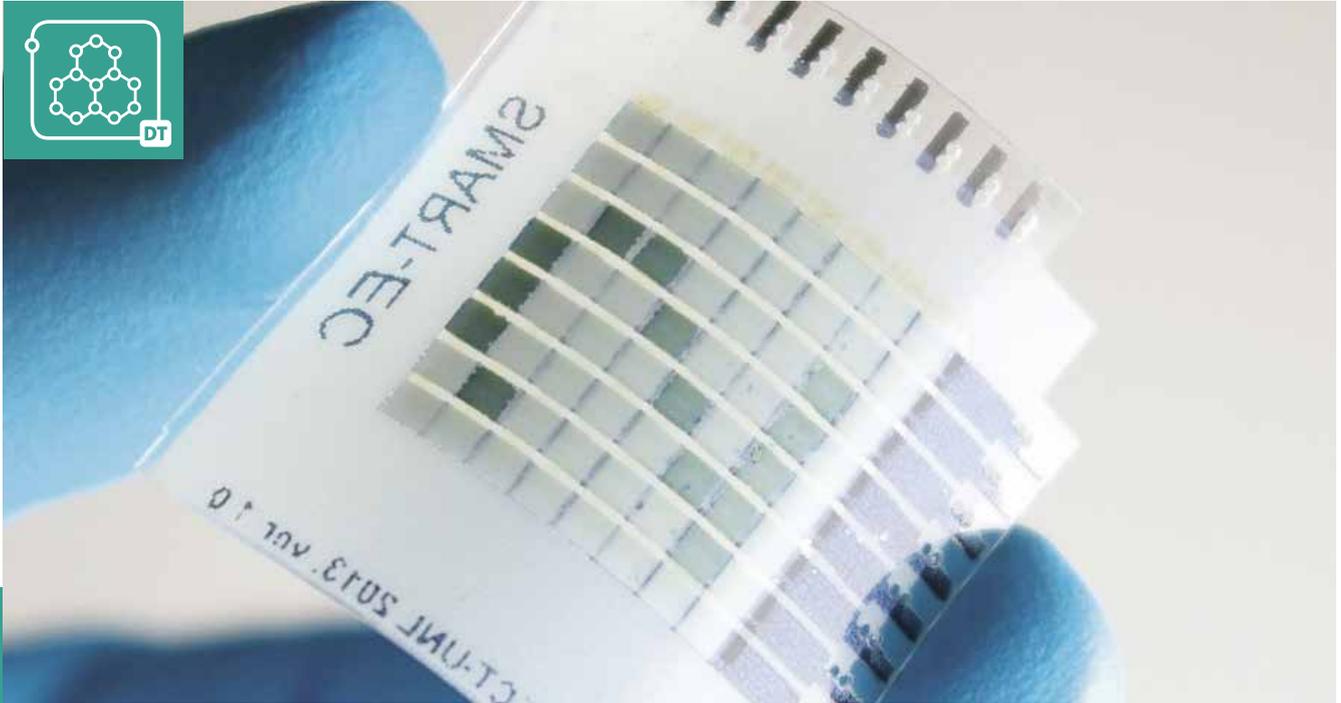
- Seminário de Impressão 3D. Realizado nas instalações do INEGI, nos dias 14 e 15 de maio, com apresentações técnicas e científicas e visita técnica aos laboratórios de impressão 3D do INEGI e da FEUP. No seminário foram realizadas apresentações de equipamentos da HP, Stratasys e Makerbot, e Markforged, pelas empresas 3D Ever, CODI e NORCAM. Foi também comunicado pela NORCAM que colocará num laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, um equipamento da Markforged para a produção de peças metálicas. Foi também comunicado pelo INEGI, que brevemente terá disponível uma máquina de Direct Energy Deposition. O seminário contou com a participação de 75 pessoas de empresas, estudantes de mestrado e doutoramento, investigadores, docentes, e técnicos especialistas.

Para 2019, estão ainda previstas as seguintes atividades:

- Seminário de soldadura. A realizar nas instalações no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Data prevista: mês de setembro.
- Visita técnica aos novos equipamentos de impressão 3D do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da FEUP, e INEGI.
- Seminário técnico de Fundição. Data prevista: mês de outubro.



Microestrutura de provete em aço inoxidável austenítico 316L produzido por fabrico aditivo (Tiled Laser Melting). Banhos de fusão muito nítidos e continuidade de grão entre camadas diferentes (fotografia de Tiago Leça)



Luís Pereira (FCT/UNL), Maria Helena Fernandes (UAveiro) e Maria Ascensão Lopes (FEUP)

Os materiais funcionais avançados são a base de desenvolvimento e inovação do tecido industrial, não só da Europa, onde nos integramos, mas mundialmente. Na verdade, sabe-se que setenta por cento de todas as inovações tecnológicas estão directa ou indirectamente ligadas aos materiais. Esta percentagem tem vindo a aumentar desde 1970 e a previsão é de continuar a aumentar até 2030. A Indústria Europeia em geral, e a Portuguesa em particular, não pode manter-se competitiva e ser realmente sustentável sem uma inovação contínua na área dos materiais.

A co-assinatura, em 2012, da Declaração de Aarhus pelos representantes da indústria e das comunidades de investigação de materiais capta essa relevância. O próprio programa Europeu Horizon 2020 mostrou que das 6 áreas tecnológicas nucleares chave (KETs – Key Enabling Technologies) para uma estratégia de longo prazo mais eficaz na resposta industrial às necessidades do mercado, a primeira esteve associada às Nanotecnologias e a segunda aos Materiais Avançados, onde depois surgem as especialidades tecnológicas, como sejam da Microeletrónica e Fotónica, Tecnologias da Informação e Comunicação, Energia, entre outras, com as quais a secção tem ligações estreitas.

Numa outra perspetiva, os materiais funcionais avançados são também peça chave na promoção do “bem-estar” da nossa civilização. A população mundial com idade superior a 60 anos deverá atingir 2 biliões em 2050. Na Europa, mais de 20% da população terá mais de 65 anos em 2025. Este aumento da longevidade da população, associado à crescente preocupação com a melhoria da qualidade de vida e à necessidade de intervenções clínicas cada vez mais frequentes, para cirurgias de substituição, reparação e mais recentemente, de regeneração, têm contribuído decisivamente para o avanço da investigação e para crescimento da indústria de dispositivos médicos (DM).

O sector dos DM constitui na Europa um dos mais inovadores, sendo o mercado europeu superior a 100 biliões de euros, com um crescimento médio anual de 4% nos últimos 6 anos. Existem na Europa quase 25 mil empresas de DM, das quais cerca de 95% são PME. Os materiais para aplicações biomédicas devem possuir propriedades muito específicas, associadas sobretudo a critérios de biocompatibilidade. Para a sua compreensão e desenvolvimento é fundamental a intervenção da Ciência e Engenharia de Materiais, a par de várias outras disciplinas do saber, como a Química, a Física, a Biologia ou a Medicina. A tomada de consciência da importância destas matérias, as dinâmicas de investigação e desenvolvimento nacional e os incentivos a nível europeu, levaram ao aparecimento, em Portugal, de um conjunto importante de licenciaturas e cursos de pós-graduação neste domínio e à criação de várias empresas, sobretudo de base tecnológica. Neste contexto, esta divisão propõe-se dinamizar e promover os materiais funcionais avançados de modo sensibilizar a sociedade civil da relevância desta área e estabelecer pontes entre as instituições de ensino/investigação, centros tecnológicos e o tecido industrial.



A divisão de Materiais Funcionais resultou da fusão das divisões de Materiais da Eletrónica e Optoelectrónica e Materiais para Dispositivos Médicos após reestruturação que ocorreu em 2018. As atividades dessas divisões no ano passado são sumarizadas de seguida.

Materiais da Eletrónica e Optoelectrónica
As ações realizadas em 2018 centraram-se em visitas e atividades organizadas para estudantes do secundário ao CENIMAT/13N, para visitarem os laboratórios da antiga secção MEON (Materiais para eletrónica, Optoelectrónica e Nanotecnologias), agora denominada de AMMN. Essas atividades passaram pela integração dos estudantes em projetos a decorrer nos laboratórios tais como, produção de dispositivos electrocrómicos, componentes eletrónicos em papel por impressão, microfluídica em papel e biossensores, entre outras. Destas ações de promoção dos materiais funcionais entre os mais novos, em que os coordenadores de Divisão estiveram envolvidos, participaram 12 escolas, num total aproximado de 536 alunos.





TCM-NET SCHOOL ON

MATERIALS FOR FLEXIBLE ELECTRONICS, SMART SURFACES AND SENSING

SUNDAY, APRIL 14TH | RECTORATE OF UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



Materiais para Dispositivos Médicos

Em 2018 foram continuadas as acções de divulgação de temas relacionados com a área de biomateriais para públicos fora da academia e para a sociedade em geral. Decorreram, sob a responsabilidade da Divisão de Biomateriais/Materiais para Dispositivos Médicos da SPM, várias sessões de discussão sobre a importância dos biomateriais na qualidade de vida das pessoas e sobre o papel dos materiais em geral na área da saúde.

No âmbito do programa de visitas de docentes e investigadores às escolas e de estudantes e professores aos Departamentos de Materiais das Universidades, foi intensificada, durante o ano de 2018, a divulgação de temas da área de biomateriais e dispositivos médicos. Neste contexto, destacam-se as actividades desenvolvidas no âmbito da Semana Profissão Engenheiro 2018 ("Os Materiais e o Corpo Humano", FEUP), o projecto de Verão "Os materiais – do micromundo ao corpo humano" (FEUP) e o Projecto SEI - Sociedade, Escola e Investigação, no tópico "Materiais para o Corpo Humano" (FEUP).

Nos programas de Iniciação à Investigação e de ocupação de jovens nas férias, organizados nas várias universidades, os Departamentos de Materiais com investigação na área de biomateriais têm mantido o seu empenho na promoção da SPM.

O ano de 2019 marca o início de actividades conjuntas a realizar por parte dos antigos coordenadores das divisões que se agregaram. Esta ano estão previstas (ou foram já realizadas) as seguintes actividades:

- Prosseguir com a promoção e divulgação dos materiais funcionais nas suas mais variadas vertentes através da recepção nas Universidades de alunos do secundário, dando continuidade ao que tem sido feito no passado.

- Fomentar uma maior articulação com os Núcleos de Materiais e Nanotecnologias existentes nas diferentes universidades para uma maior interacção entre estes e a SPM, nomeadamente no apoio e divulgação de palestras, workshops ou outros eventos organizados pelos referidos núcleos em temáticas relacionadas com os materiais funcionais.

- Organizar, em anos de conferência "Materiais", escolas vocacionadas para alunos de mestrado e doutoramento em colaboração com a Transparent Conductive Materials Network (TCM-Net). A escola internacional organizada este ano na conferência Materias 2019 focou-se nos materiais funcionais para electrónica, sensores e catálise, contando com a participação de oradores internacionais de grande prestígio. Mais detalhes podem ser consultados em

<https://www.materiais2019.pt/tcm-net-school-on-materials-for-flexible-electronics-and-sensing/>

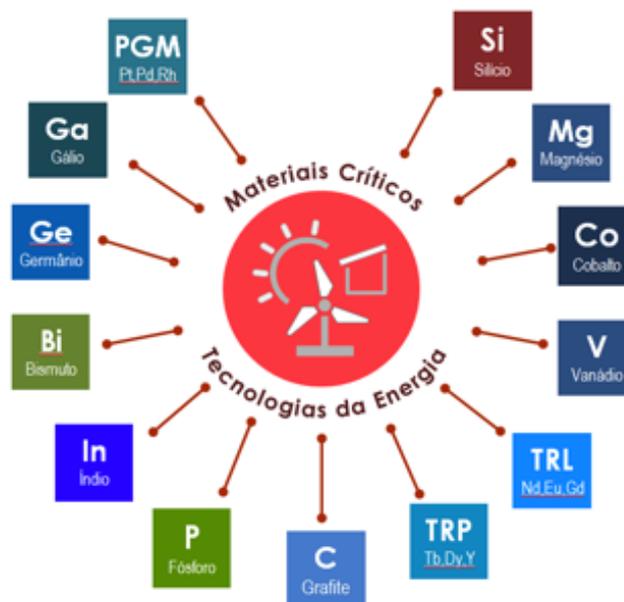
- Organizar seminários ou palestras sobre tópicos no âmbito da Divisão.

- Organizar *webinars* temáticos, que se pretendem, numa primeira fase, pelo menos com uma periodicidade semestral. Neste caso, é intenção dos coordenadores introduzir algumas temáticas de interesse para sócios industriais, de forma a estabelecer uma relação mais consistente entre a Divisão e este tipo de associados.



Luís Gil (DGEG) e Carlos Nogueira (LNEG)

Os materiais e a energia estão intimamente ligados, seja a nível da produção de energia, seja a nível dos vários tipos de energia necessários à obtenção e processamento dos materiais.



Assim, a área dos materiais para a energia deve ser uma actividade fundamental para a SPM, sendo que um dos aspetos chave é o das matérias-primas a utilizar na produção dos materiais necessários para as novas tecnologias energéticas e os problemas geo-estratégicos, económicos e sociais associados.

Em 2018, foi continuado o trabalho de divulgação da Rede Temática do Sobreiro e da Cortiça (REDECOR), criada no âmbito desta Divisão. O ano 2018 foi o primeiro em que a informação relacionada com esta Rede Temática passou exclusivamente a ser enviada a membros efectivos da SPM. Durante 2018 foram enviadas 16 informações desta rede.

A nova rede temática designada REMATE – Rede de Materiais e Energia no âmbito da DM&E, que iniciou a sua actividade no ano anterior, entrou em velocidade de cruzeiro. Durante 2018 foram enviadas 14 informações desta rede.

Esta Divisão foi responsável pela publicação de um artigo baseado no evento satélite Materiais e Energia do Congresso Materiais 2017: L. Gil, M. Oliveira, J. Frade “Energia e Materiais”, Indústria & Ambiente, Nº 107, p. 34-36.



Adding Quality to your Systems
Um Projeto para as Empresas na Investigação,
Desenvolvimento e Caracterização de Novos Produtos



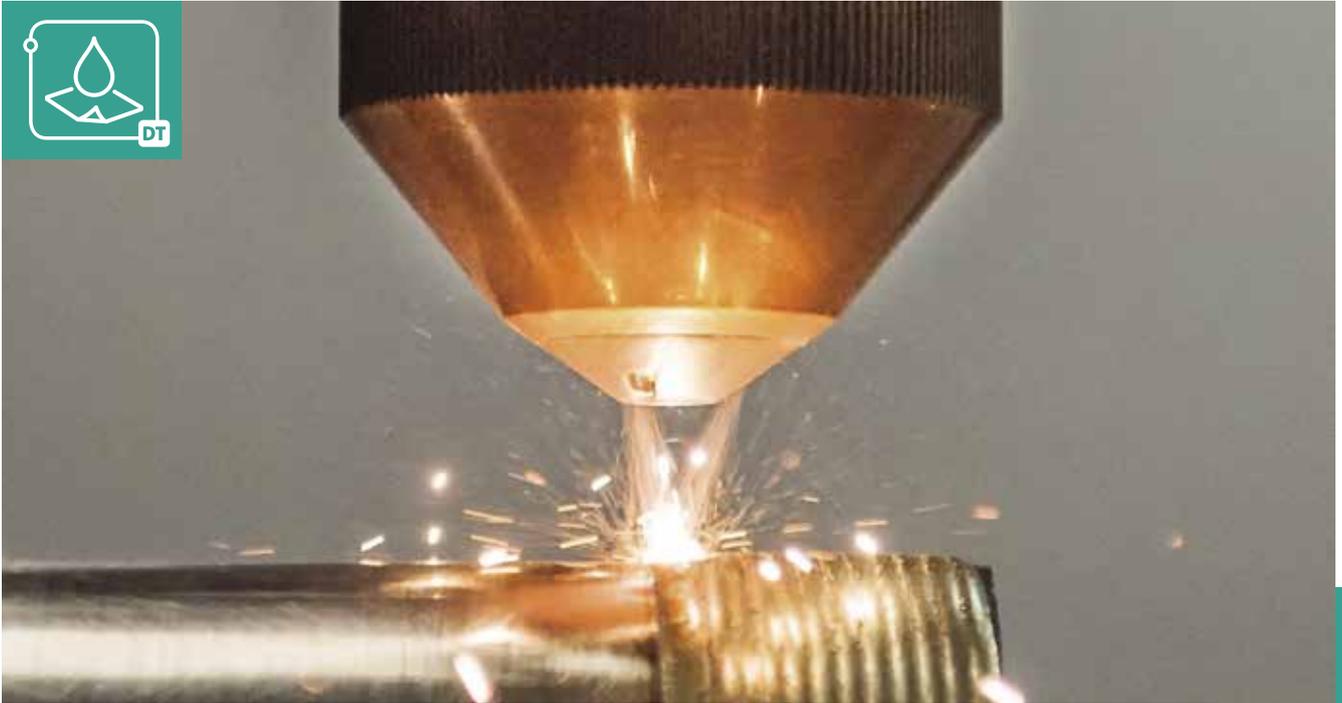
Outros eventos específicos foram organizados pela DM&E, em colaboração com a DGEG e a OE, que se realizaram em 14 de setembro, no Auditório da OE em Lisboa:

- Colóquio: Medida de Conteúdo Ecológico em Materiais Naturais de Vida Longa
- Encontro: Desenvolvimento de Materiais para as Novas Tecnologias Energéticas



As acções da Divisão de Materiais e Energia previstas para 2019 são as seguintes:

- Manutenção da divulgação da informação via Redes Temáticas REDECOR e REMATE;
- Fornecimento de informação para a Newsletter e os restantes canais de informação da SPM;
- Organização de eventos;
- Maior colaboração com a Ordem dos Engenheiros.



Albano Cavaleiro (FCTUC) e Ricardo Alexandre (TEandM)

A Engenharia de Superfícies pode ser definida como “O estudo do par superfície / material que permite otimizar as suas propriedades funcionais, no sentido de alcançar a melhor relação custo efectivo / desempenho, impossível de obter com um só elemento deste par”. Muitos são os tópicos abrangidos pela actividade desenvolvida na área das superfícies (corrosão, desgaste, oxidação, atrito, lubrificação, topografia, aspecto, fadiga), os quais associados às acções de projecto, modelização, caracterização, mecânica do contacto, limpeza, qualidade, meio ambiente, permitem satisfazer o meio industrial onde a degradação e protecção dos materiais são uma constante (produção de energia, moldes e ferramentas, petroquímica, biomédica, têxtil, alimentação, aeronáutica, automóvel,...). Para tal, existe uma miríade de técnicas de modificação de superfícies (PVD, CVD, projecção, tintas, electroquímica, laser e feixe de electrões, tratamentos termoquímicos, etc... que devidamente aplicadas permitem soluções potenciais para os problemas e desafios colocados pelas indústrias. Esta área mobiliza toda a comunidade, exige estudos científicos aprofundados (universidades), requer a transferência da tecnologia para produção industrial (institutos de interface) e uma implementação no terreno (empresas).

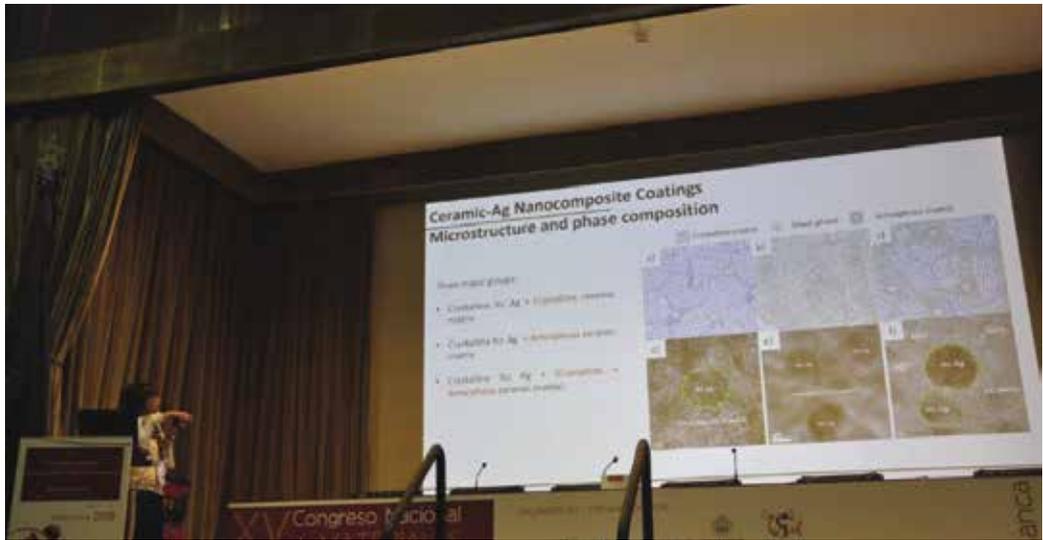
Do ponto de vista económico, o impacto do sector ligado à modificação e protecção de superfícies é enorme. Nas áreas do atrito / desgaste e corrosão, os valores envolvidos nas perdas anuais representam mais de 4% do PIB nos países desenvolvidos. As perdas por atrito são da ordem dos 15% do consumo global de energia de um país industrializado. O uso e eliminação de lubrificantes custa anualmente mais de 100 biliões de Euros. A atenção que deve ser, por isso, prestada a esta área poderá levar a poupanças significativas com impactos importantes no bem estar da população e no meio ambiente.

Os objetivos a que se propõe esta divisão são: (i) promover o avanço da investigação e a solução de problemas, fundamentais e aplicados, relacionados com a degradação e proteção de superfícies; (ii) dinamizar acções de divulgação junto de empresas da importância da Engenharia de Superfícies para a resolução dos seus problemas, desde os do dia-a-dia aos mais estruturantes de longo prazo; (iii) motivar jovens estudantes com interesses em melhorar a sua formação para a realização de estudos de pós-graduação nesta área; (iv) fomentar junto das instituições de ensino, de interface e empresariais, a importância dos seus membros e trabalhadores de pertencer como associados a esta divisão e à SPM para que possam usufruir das vantagens que lhes são proporcionadas.

As actividades desenvolvidas em 2018 referem-se essencialmente aos eventos organizados sob o auspício directo da SPM e a outros eventos com forte envolvimento de sócios da SPM e com impacto significativo nos Materiais e Engenharia de Superfícies.



No âmbito do 1º Encontro Ibérico de Materiais em Salamanca foi organizado, em Julho de 2018, um simpósio denominado “Surface science and engineering for advanced applications”. O simpósio contou com mais de 50 contribuições, 6 das quais convidadas. Entre os palestrantes convidados é de realçar a presença do sócio da SPM, Ricardo Alexandre da TEandM, que proferiu uma comunicação sobre: “Portuguese Surface Engineering Technological Platform – From the Lab to the Market”.



Em 18 de Julho foi organizado em Coimbra, nas instalações do Instituto Pedro Nunes, o Workshop TRIBOapp 2018, sobre a Tribologia e as suas aplicações. O evento teve palestrantes nacionais e estrangeiros, respectivamente os Professores Amílcar Ramalho, da Universidade de Coimbra, e Rogério Colaço, do Instituto Superior Técnico; de instituições estrangeiras, o Professor Luis Rocha, da Universidade Estadual Paulista, Brasil, e o Doutor Giovanni Ramirez, da Brucker Nano Surfaces, USA. Cerca de 60 participantes tiveram oportunidade de ouvir e participar na discussão sobre temas importantes na área da Engenharia de Superfícies, relacionados com tribologia, à escala nano, micro e macro, relativamente a testes e ensaios que são utilizados, assim como na sua aplicação em diversas áreas.



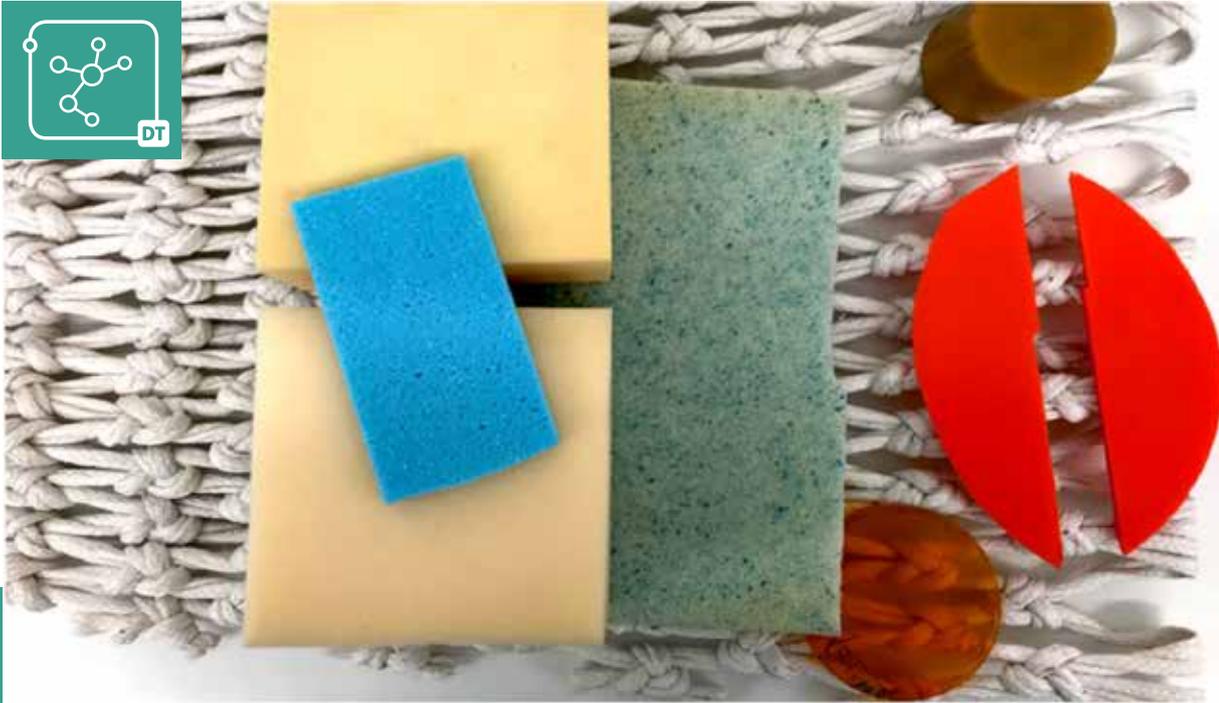
A finalizar o ano de 2018, no dia 13 de Dezembro, foi organizado na Marinha Grande um Seminário sobre o tema “INDUSTRY & SURFACE ENGINEERING - 30 anos em Portugal de Filmes Finos (Revestimentos) para Aplicações em Engenharia Mecânica”. Após a abertura do Seminário pela Presidente da SPM, Prof. Paula Vilarinho, houve uma série de comunicações evocativas sobre o historial dos revestimentos finos em Portugal, onde intervieram os Professores Sá Furtado, Augusto Moutinho, Teresa Vieira e Albano Cavaleiro. A perspectiva industrial neste assunto foi realizada pelo Engº Alcântara

Gonçalves da TEandM. O Engº João Paulo Dias, do Instituto Pedro Nunes, apresentou uma comunicação sobre “Os revestimentos duros e o programa mobilizador On-Surf”, ao qual se seguiu um debate final de como é que a Indústria vê a necessidade da utilização de filmes finos para o seu desenvolvimento social e económico. Na mesa estavam vários elementos representando empresas, institutos de interface e universidades. Os cerca de 60 participantes tiveram oportunidade de intervir e discutir as suas opiniões com os elementos da mesa.



Em 31 de Outubro foi lançada a Plataforma Tecnológica, nacional, de Engenharia de Superfícies – On-Surf. Esta plataforma tem como objectivo mobilizar os diferentes actores nacionais da cadeia de valor, na industrialização de respostas aos grandes desafios deste sector tecnológico direccionadas aos mercados automóvel, tooling, farmacêutico, aeronáutico, alimentar, decorativo, entre outros. O lançamento foi realizado no CENIMAT, na Universidade Nova de Lisboa onde estiveram representantes das empresas e instituições que constituem o consórcio e um número elevado de convidados da sociedade civil.





**Jorge Coelho (FCTUC), António Correia Diogo (IST),
António Torres Marques (FEUP) e João Bordado (IST)**

A SPM é membro efectivo da EPF- European Polymer Federation há mais de 30 anos. Na aceitação da candidatura então apresentada, pesou o facto de a SPM incluir uma Secção Técnica de Materiais Poliméricos, antepassada da actual Divisão Técnica de Polímeros e Compósitos, e agregando uma parte substancial dos investigadores e profissionais activos nessa área.

A EPF organiza todos os dois anos o Congresso Europeu de Polímeros. Em 2019, o European Polymer Congress decorrerá em Heraklion, na ilha de Creta, de 9 a 14 de Junho. Trata-se de um Congresso com uma participação habitual de mais de mil inscritos. O próximo Presidente da EPF, eleito em Fevereiro de 2019, deverá tomar posse em Janeiro de 2020 e irá organizar o Congresso da EPF de 2021, previsto ocorrer em Praga (República Checa). A SPM está a considerar a possibilidade de propor e apoiar a apresentação de uma candidatura para organizar e realizar em Portugal o Congresso da EPF em 2023.

As empresas de polímeros estão presentemente sob grande pressão social e política devido à acusação de, com os seus produtos (os plásticos e produtos da degradação destes), contribuírem para a degradação do ambiente em geral e a poluição dos oceanos, em particular. Omite-se frequentemente que alguns países emergentes são os grandes responsáveis por esta situação (muito mais que os USA ou a UE). E despreza-se a avaliação responsável e quantitativa dos custos/benefícios das alternativas.

A Sociedade Portuguesa de Materiais é membro efetivo da European Polymer Federation:



A actividade da Divisão vai, assim, começar por organizar palestras ou seminários de entrada livre sobre os temas da reciclagem e reutilização de polímeros, com a frequência prevista de dois por ano. Para tal, vai associar a SPM com os seguintes grupos de investigação:

- CEMMPRE-Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes da FCTUC



- CERENA (Centro de Recursos Naturais e Ambiente) do IST-UL



- LAETA - Laboratório Associado de Energia, Transportes e Aeronáutica, da FEUP



- Departamento de Engenharia Química do IST-UL



- Polymer Synthesis and Characterization Research Group da FCTUC



- IPC – Instituto de Polímeros e Compósitos do DEP-UMINHO.



Seguir-se-á uma primeira Conferência Nacional de Polímeros e Compósitos, após o que se preparará a candidatura ao Congresso da EPF em 2023.

Vai ser tentado protocolo com Associação Rede Competência em Polímeros de que Jorge Coelho (Coordenador desta Divisão) foi vice-director entre 2013 e 2019.



A J-SPM integra os sócios da SPM com menos de 35 anos e tem como principal objectivo ser uma plataforma de contacto entre os estudantes e trabalhadores na área dos materiais a nível nacional.

Pretende:

- Desenvolver acções de divulgação do curso junto da população jovem, através da criação de uma ligação com os núcleos de curso de cada universidade;
- Fazer pontes entre as empresas da área, para uma melhor e maior interacção entre os alunos e recém-formados;
- Apoiar a organização, nos anos pares, do ENEM – Encontro Nacional de Estudantes de Materiais.



6º ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE MATERIAIS

Organizada na FEUP pelo Núcleo de Estudantes de Materiais e J-SPM, o 6º ENEM teve lugar de 11 a 13 de Novembro com cerca de 150 participantes



NORCAM e DEMM/FEUP colaboram em Fabricação Aditiva de componentes metálicos



DEMM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA
E DE MATERIAIS

O DEMM e a NORCAM subscreveram um protocolo que prevê a utilização da Impressora 3D em metal da Markforged pelo DEMM de modo a possibilitar as atividades de ensino, investigação e desenvolvimento neste tipo de tecnologia.

Este campo da tecnologia de fabrico, em muito rápido desenvolvimento e expansão, tem merecido uma atenção especial do DEMM, sendo este protocolo de capital importância para a integração destas tecnologias no processo formativo.



Contatos:

Pedro Costa: 938 399 287 – prc@norcam.pt

À CONVERSA COM...

PROFESSOR LEOPOLDO GUIMARÃES

O antigo reitor da Universidade Nova e fundador do Departamento de Ciências dos Materiais da FCT-UNL esclarece que os materiais sempre existiram e estiveram associados ao desenvolvimento da sociedade. Hoje estão mais visíveis porque a evolução da tecnologia criou novos materiais. Hoje são encarados de uma forma integrada e ganham visibilidade no mercado. No entanto ainda há trabalho a fazer, nomeadamente na divulgação da sua importância junto das camadas mais jovens.



Os materiais sempre estiveram presentes, mas sem serem devidamente valorizados. A questão, lembra Leopoldo Guimarães, é que, durante muito tempo os materiais estiveram associados à metalurgia e depois à construção civil. Todas as áreas da sociedade viviam, parte delas, à custa dos materiais. Mas como estavam tão dispersas as pessoas nem pensavam neles (os materiais). Mas a evolução da tecnologia veio mudar tudo isto. A física do estado sólido mais a mecânica quântica levaram a cabo condições de materiais que não existiam nessas áreas do conhecimento. É o caso dos materiais da microeletrónica. E isso levou a que a comunidade considerasse que a reunião dos materiais fosse fundamental. Os materiais estão em mais “locais” do que se pensa. Estão presentes em todas estas “novas” tecnologias. “Até a inteligência artificial depende dos materiais”, afirma Leopoldo Guimarães, acrescentado que “a nobreza dos materiais é hoje fundamental”. Esta importância dos materiais levou a ajustes na formação. Leopoldo Guimarães lembra que a Universidade Nova foi a primeira universidade portuguesa a ter um departamento de materiais. Hoje a sua importância extravasou aquela instituição e outras universidades têm o seu próprio laboratório, considerado a investigação dos materiais como algo fundamental, a nível estratégico.

Mas, para o desenvolvimento dos materiais é necessário ter uma abordagem holística dos problemas. Ter várias áreas a trabalhar em conjunto. Algo que, em 1973, quando foi concebido o projeto das Universidades Novas, com o professor Veiga Simão, estava contemplado. Projeto que, já nessa altura, contemplava os materiais. E considerava que o desenvolvimento advinha não das faculdades, mas sim com áreas de conhecimento e departamentos.

A trabalharem juntos, de uma forma unificada. Desse projeto inicial apenas a Universidade de Aveiro e do Minho seguiram essa linha, trabalhando dessa forma até aos dias de hoje. De resto a Universidade Nova está dispersa, quer fisicamente, quer em Faculdades. Sobre isso Leopoldo Guimarães afirma que, em termos de conceito filosófico, a universidade unificada seria melhor.

Esta aposta na formação leva a que Portugal **“tenha acompanhado a evolução da tecnologia”**, principalmente através do trabalho de grupos de investigação, como os existentes da Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Nova; da Universidade de Aveiro, da Faculdade de Ciências de Lisboa, da Universidade do Porto e da Universidade do Minho. Os prémios internacionais ganhos por investigadores portugueses são prova disso mesmo.

O facto é que os materiais são hoje uma área fundamental. Quer na investigação **“pura e dura”**, quer nas empresas. Um exemplo? Os polímeros, segundo Leopoldo Guimarães, foram fundamentais na evolução da tecnologia. **“A pouco e pouco os materiais foram projetando a sua personalidade e foram retirando, às outras áreas, aquilo que lhes pertencia”**, constata Leopoldo Guimarães.

Por outro lado, convém não esquecer que as exigências da sociedade levam à transformação (e aparecimento de novos) dos materiais. Se em tempos pensar em materiais era pensar na metalurgia hoje nem é a área mais importante. Aliás, em tempos, **“nem os polímeros estavam na área dos materiais”**, lembra Leopoldo Guimarães, acrescentando que **“estavam na área da química”**. O que prova que

à media que surgem novas exigências e a investigação evolui a visão sobre os materiais se transforma e ganha novas dimensões.

Falta alcançar os jovens

Se a promoção e divulgação dos materiais e sua importância na economia junto dos atores fundamentais já foi devidamente acautelada o mesmo não se pode dizer em relação ao grande público, e, principalmente junto das camadas mais jovens. As empresas, as universidades já sabem da importância dos materiais. No entanto falta alguma formação na fase intermédia do ensino, ou seja, no secundário. **“Os jovens são atraídos pelos materiais por razões muito objetivas, como por exemplo, a microeletrónica”,** constata Leopoldo Guimarães, acrescentando que, por vezes, estão atraídos para áreas de conhecimento que não sabem estar relacionadas com os materiais.

Não quer dizer que não haja informação disponível. Porque a há. Podem ir visitar as universidades e os laboratórios e até ver a investigação que está a ser feita. Informação que Leopoldo Guimarães considera ser fundamental para atrair alunos. **“Hoje a área dos materiais em todas as universidades é muito concorrida”.** A questão está nos mais jovens. Principalmente comunicar que áreas **“quentes”** como as energias alternativas necessitam dos materiais para existir. Porque **“são essencialmente materiais, semicondutores e outros sucedâneos dos semicondutores”.**

Como tudo começou... e para onde vai

“Sempre gostei mais da parte física da engenharia”. É desta forma que Leopoldo Guimarães explica como tudo começou, referindo que se dedicou à física do estado sólido e à mecânica quântica, o que acabou por o levar até Inglaterra onde, na Universidade de Londres, descobriu o mundo dos materiais. Foi aí que tudo começou. E que culminou com o convite para ir criar o departamento de materiais na Universidade Nova, onde, mais tarde, ocupou o cargo de Vice-Reitor.

Um percurso que foi agora reconhecido pela Sociedade Portuguesa de Materiais com a atribuição do Prémio Carreira e Reconhecimento. No entanto, sobre isso Leopoldo Guimarães afirma que é apenas um transmissor da mensagem. **“Os grandes precursores dos materiais na Universidade Nova são o professor Rodrigo Martins, a**

doutora Elvira Fortunato, entre outros”, afirma, acrescentando que o prémio é dedicado a **“todos os que na prática, na investigação, na formação, conseguiram projetar os materiais como são hoje”.**

Poder-se-ia pensar que, estar afastado da carreira catedrática significaria abandonar a universidade e a área dos materiais. Nada mais errado. Leopoldo Guimarães não se inibe de dar a sua opinião, sempre que é solicitado para o efeito. No, entretanto, virou-se para a escrita. **“Já vou no meu quinto romance”,** confessa, acrescentando que dois deles serão lançados no mercado ainda este ano. E não se pense que são livros esotéricos. **“São romances da pesada”. “O que eu escrevo, embora seja romance, é essencialmente diálogo”,** afirma Leopoldo Guimarães. **“Diálogo entre pessoas.”**

Um diálogo que permite que Leopoldo Guimarães faça o contraditório. O último livro, onde aborda o tema da eutanásia é um bom exemplo. E para poder ilustrar as várias vertentes do tema nada melhor do que escolher uma médica para personagem principal.

Depois de estar na génese do aparecimento dos materiais na formação (universitária) portuguesa Leopoldo Guimarães muda os seus interesses para temas mais lúdicos, mas nem por isso menos importantes ou polémicos. Uma forma de exercitar o intelecto, habituado a matérias difíceis e complexas.



Galardoado com o Prémio Carreira e Reconhecimento da Sociedade Portuguesa de Materiais no ano de 2019

À CONVERSA COM... PROFESSOR BAYÃO HORTA

O mundo atravessa, hoje, inúmeros desafios. Desde as alterações climáticas, a neutralidade carbónica, a inteligência artificial, a robótica, no caso de Portugal a futura plataforma continental... E os materiais estão no cerne de todas estas matérias. O que leva Bayão Horta a afirmar que a ciência e tecnologia dos materiais fomentou (e fomenta) o desenvolvimento da Humanidade.



Estamos talvez na era em que mais se fale dos materiais. No entanto estes sempre estiveram presentes na sociedade. O professor Bayão Horta vai mais longe e afirma, categoricamente, que os materiais sempre marcaram a evolução da sociedade, seja através dos avanços da ciência ou pela necessidade de proporcionar bem-estar à população.

“Ciência, tecnologia e engenharia de materiais é uma espinha dorsal do desenvolvimento e do progresso da Humanidade”, conclui Bayão Horta, que afirma que, se de início a força motriz é a de fazer com que as pessoas vivam melhor – basta pensar na Idade do Pedra, Idade do Ferro... – mas o avanço da ciência dos materiais auferiu uma globalização conceptual do domínio da estrutura dos materiais, as suas propriedades, as suas utilizações, o seu comportamento e serviço. Sendo que isto aconteceu ao mesmo tempo que se desenvolviam os processos de fabrico e de utilização. Isto faz com que hoje, segundo Bayão Horta, se olhe para os materiais sem barreiras, sem fronteiras.

É como dizer que as cerâmicas são frágeis. Podem ser. Mas também os há que não sejam. Porque aí entra o aprimorar dos materiais, fruto do trabalho da ciência. Hoje em dia os materiais, com o desenvolvimento concertado da ciência, tecnologia e engenharia dos materiais, são um todo contínuo. Isso permite uma competição **“enorme”** entre materiais, assim como dar respostas aos desafios. **“Não há nenhum desafio da sociedade moderna (da antiga também não) que não passe pelos materiais”**, afirma categoricamente Bayão Horta. E dá os exemplos dos **“temas quentes”** da atualidade: alterações climáticas, neutralidade carbónica, transição energética, inteligência artificial,

robótica... tem tudo por base os materiais. De uma forma simplista podemos dizer que a ciência dos materiais tenta responder a necessidades/problemas da sociedade e que, ao fazê-lo, cria novas necessidades/problemas. É um processo contínuo de evolução e ajustamento.

Há quem considere que vivemos na era do silício. Bayão Horta não concorda com esta designação porque considera que hoje não há materiais dominantes. **“Hoje em dia os materiais são um espectro contínuo de oferta”. O que faz com que “em todos os problemas da sociedade os materiais estão no centro do desenvolvimento”**.

Um exemplo simples. O avanço da ciência adicionou anos à nossa vida. Só que isso acarretou todo um conjunto de novos desafios que a sociedade tem de dar resposta. Trata-se de uma relação recíproca e interativa. E o que acontece? Hoje verifica-se que a ciência invadiu o quotidiano. Em todos os aspetos. Desde a cozinha, o automóvel... e, à medida que temas como a internet das coisas se massifica essa **“interferência”** irá aumentar.

As alterações dos processos de fabrico dos materiais, por exemplo, estão no cerne da neutralidade carbónica, para diminuir as emissões de CO₂. Veja-se o caso do cimento, um material **“corrente”** e importantíssimo. A sociedade moderna vive e sobrevive à custa do betão. Este está por todo o lado. No entanto, a tecnologia de fabrico de cimento é responsável por 5% das emissões antropogénicas de CO₂ do mundo.

Isto acontece porque, explica Bayão Horta, o cimento é feito a partir do calcário – carbonato de cálcio – que é descarbonatado no processo de produção e emite CO₂. Emite quase 800 quilos de CO₂ por cada tonelada de cimento – cerca de 600 do calcário e os restantes 200 da queima do combustível. Esta situação leva a que a investigação deste material seja considerada como prioritária – o desenvolver outra forma de criar a **“liquid stone”**.

“A tecnologia de cimento vai mudar”, afirma perentório Bayão Horta. A pressão da sociedade e do mercado vai obrigar a isso. E é fundamental que Portugal, que é autónomo em tecnologia cimenteira, consiga reagir a tempo. Caso contrário **“perdemos a autonomia tecnológica num material fundamental”**. É com base nisto que Bayão Horta afirma que é crítico dominar não só a utilização, mas também a conceção/fabricao do material. E aqui **“nós estamos muito à frente”**. Portugal já tem, através de uma parceria entre a Cimpor e o Instituto Superior Técnico, um projeto com mais de 10 anos, que investiga a tecnologia do cimento. E que resultou, para já, em duas patentes aceites internacionalmente, com reduções substanciais da emissão de CO₂. Uma outra vantagem da nova abordagem prende-se com a possível eliminação da utilização de energia fóssil e com potenciar a economia circular pela incorporação de resíduos de demolição.

A paixão de Bayão Horta por este mundo – o dos materiais – nota-se não só no conhecimento auferido ao longo de toda uma carreira no setor, mas também no entusiasmo com que fala da matéria. **“A ciência dos materiais é intelectualmente uma beleza, mas, a grande importância da ciência e tecnologia dos materiais prende-se com a sua utilização”**. Produzir tecnologia, ou seja, **“dar impacto económico a esta ciência”** e depois engenharia – **“dar impacto económico e social a esta ciência”**. Esta é que é, para Bayão Horta, a verdadeira globalização da ciência e tecnologia de materiais.

E, quer se queira, quer não, é uma área incontornável. Porque uma pessoa terá sempre de se vestir, de se movimentar, de se alimentar, de desfrutar do laser... e os materiais estão na base de tudo isso.

Portugal no topo da investigação

Portugal está bem posicionado (comparativamente com a Europa) no que concerne à investigação. Esta é a opinião

de Bayão Horta que refere que o país tem vários centros de excelência em várias Universidades. O Técnico, por exemplo, é um centro de excelência em **“muitas áreas da engenharia de materiais, desde os biomateriais, os compósitos, cimento...”**. Já a Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Nova, destaca-se na eletrónica; já Aveiro notabiliza-se pela sua área de cerâmicas **“muito desenvolvida”**; enquanto que a Universidade do Minho dedicou-se aos polímeros. Sem esquecer o Instituto de Nanotecnologia, em Braga e o Porto, que manteve a o foco da investigação na área da metalúrgia. São instituições que se destacam, a nível mundial, e que contribuem para a evolução e valorização da ciência dos materiais em Portugal.

Mas, se Portugal está ao nível das melhor universidades, no que concerne à investigação, o que é que falta? Falta **“entrar na vida quotidiana o conceito de que um doutorado não tem de fazer uma carreira académica”**. Pelo contrário. **“Deve ir para a economia, deve ir para as empresas”**. Basicamente aproveitar o conhecimento científico para abordar e solucionar os problemas importantes que desafiam as empresas e a sociedade. Porque os desafios atuais (e futuros) só se resolvem com abordagens holísticas dos mesmos. E isso só se consegue integrando diferentes abordagens, diferentes perspetivas, diferentes experiências.



Galardoado com o Prémio Carreira e Reconhecimento da Sociedade Portuguesa de Materiais no ano de 2019

PROJETOS I&DT NACIONAL

A SPM, através da sua revista, vai começar a divulgar e promover o que se faz no País em *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, publicando textos fornecidos pela Universidades, Laboratórios do Estado, Laboratórios Associados, Centros Tecnológicos e Empresas. Esta é a primeira de muitas contribuições que esperamos vir a receber.

ATIVIDADES I&DT NACIONAL



A Unidade de Energias Renováveis e Integração de Sistemas de Energia (UER) do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P. (LNEG) tem por missão realizar actividades de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (I&D&I), apoiar o tecido empresarial e apoiar o desenvolvimento e aplicação das políticas públicas na área das energias renováveis, eficiência energética, armazenamento e integração de sistemas de energia.

O desenvolvimento de novos materiais com melhor desempenho é determinante para que o processo de transição energética para fontes de energia renováveis se faça em todas as suas vertentes de um modo sustentável. Uma das áreas de actuação da UER é precisamente a dos Materiais para a Energia, participando em projectos para o desenvolvimento de materiais para sistemas de produção de energia (Solar Fotovoltaica e Solar Térmico); materiais para conversão de energia; electroquímica de materiais para a energia (hidrogénio e pilhas de combustível; e ainda materiais para produção de combustíveis solares.

O projecto **ALTALUZ** em curso na UER ([http:// sites.fct.unl.pt/altaluz/](http://sites.fct.unl.pt/altaluz/)) explora uma nova arquitectura de células-tandem (Figura 1) que consiste no empilhamento de células independentemente conectadas numa dupla-junção. Esta abordagem permite que as subcélulas sejam fabricadas e optimizadas separadamente, e melhoradas pela acção combinada de elementos de dispersão de luz capazes de aprisionar a luz nas suas regiões foto-activas.



Figura 1 – Representação da tecnologia fotovoltaica desenvolvida no projeto AltaLuz: esquema da célula solar tandem de dupla junção e 4 terminais.

Estão a ser estudados materiais fotovoltaicos promissores para a célula dianteira, empregando semicondutores constituídos por perovskites e kesterites ($\text{Cu}_2\text{Zn}(\text{Sn,Sb})\text{S}_4$) e a ser desenvolvidos novos materiais também para a interface entre a célula traseira e dianteira, para permitir uma ligação precisa das subcélulas, isolá-las electricamente e minimizar as perdas ópticas no tandem.

A transição para um sistema energético mais amigo do ambiente implica um aumento da utilização de energias renováveis e uma contínua inovação na área dos materiais. O projeto **LocalEnergy** (<http://localenergy.lneg.pt/>) está alinhado com esta estratégia, abordando o desenvolvimento e a exploração de tecnologias ecológicas e de baixo custo relacionadas com a conversão de energia. As actividades de investigação do projeto LocalEnergy são orientadas para a indústria e assentam numa abordagem disruptiva visando o desenvolvimento

de materiais termoeléctricos (Figura 2), através da utilização de materiais à base de tetraedrites naturais e sintéticas, e o desenvolvimento de novos absorvedores para células solares de filmes finos (Figura 3), usando materiais à base de tetraedrites sintéticas. Esta é uma oportunidade para o desenvolvimento de sistemas energéticos sustentáveis baseados na maximização e exploração dos recursos naturais portugueses, nomeadamente energia solar e recursos minerais.

Portugal é um dos países europeus com maior nível de irradiação de energia solar e a tetraedrite é um recurso mineral local, presente na Faixa Piritosa Ibérica (Figura 4). A utilização destes dois recursos endógenos em aplicações inovadoras de captação de energia deverá ter um impacto positivo, social e económico, na indústria nacional mineira e solar.

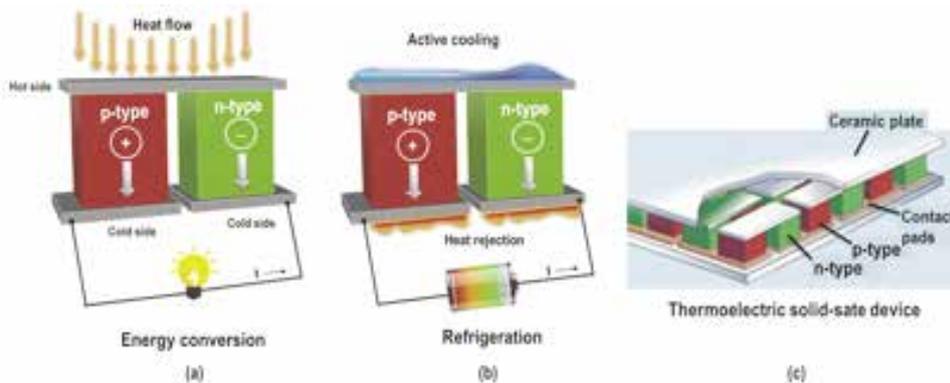


Figura 2 – Ilustração de uma junção termoeléctrica para; (a) conversão de energia (efeito de Seebeck), (b) refrigeração (efeito de Peltier) e (c) dispositivo termoeléctrico [Xiao Zhang, Li-Dong Zhao, Journal of Materiomics 1 (2015) 92-105].

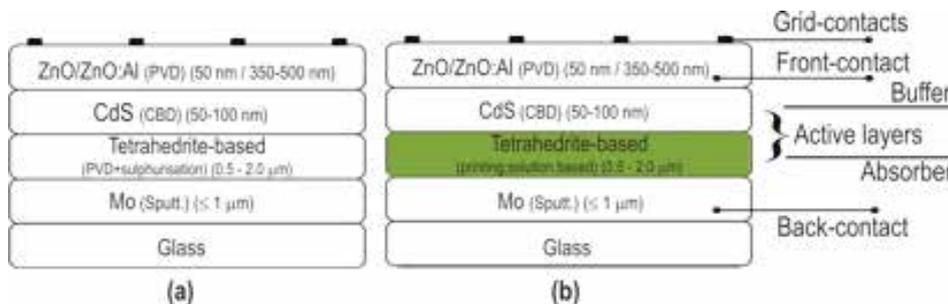


Figura 3 – Ilustração dos dispositivos típicos de uma célula solar de filme fino à base de tetraedrite a serem processados e avaliados.

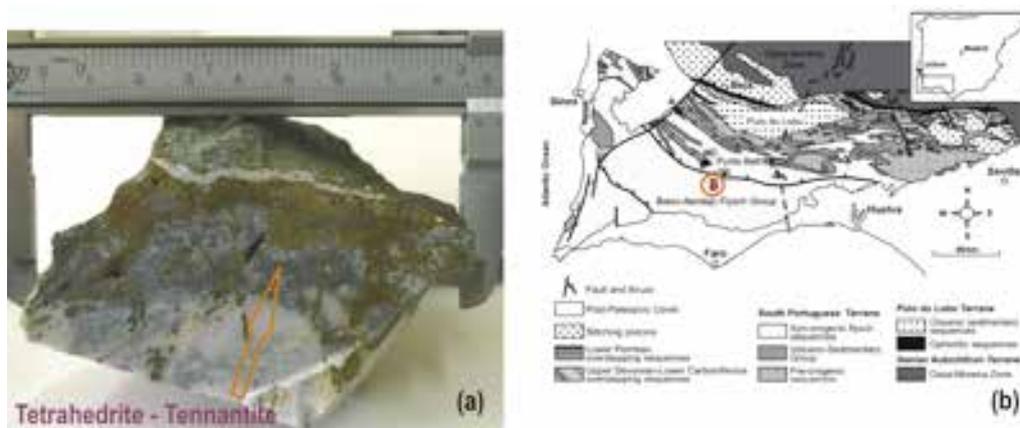


Figura 4 – (a) Minério recolhido no Barrigão; (b) Faixa Piritosa Ibérica (FPI). A – Aljustrel; NC – Neves Corvo; B – Barrigão [Fiona K.M. Reiser, Diogo R.N. Rosa, Álvaro M.M. Pinto, João R.S. Carvalho, João X. Matos, Fernanda M.G. Guimarães, Luís C. Alves, Daniel P.S. de Oliveira, *International Geology Review* 53 (2011) 1212-1238].

O outro projecto, o **SuPerSolar** (<https://sites.fct.unl.pt/supersolar/>), visa alcançar avanços significativos no estado da arte da tecnologia de electricidade solar fotovoltaica (FV), permitindo não só melhores eficiências de conversão da energia solar em eléctrica, mas também uma mais fácil aplicação das células solares em produtos comerciais direccionados para o consumidor. Isso será conseguido com o desenvolvimento de células solares flexíveis e de baixo custo, com eficiências que podem exceder o limite teórico de Shockley-

Queisser (~33%). Tal pode ser alcançado com criatividade científica orientada para a indústria, uma das quais é a dos materiais inovadores (Figura 5). A tecnologia FV será baseada em células de perovskite, que demonstraram eficiências estabilizadas recorde (~22%) comparáveis com as (~25%) dos dispositivos de silício (Si), mas com materiais de filme fino processados por solução e depositados sem vácuo. Como tal, o FV baseado em Perovskites é actualmente o melhor candidato para eletrónica flexível e de baixo custo alimentada por energia solar.

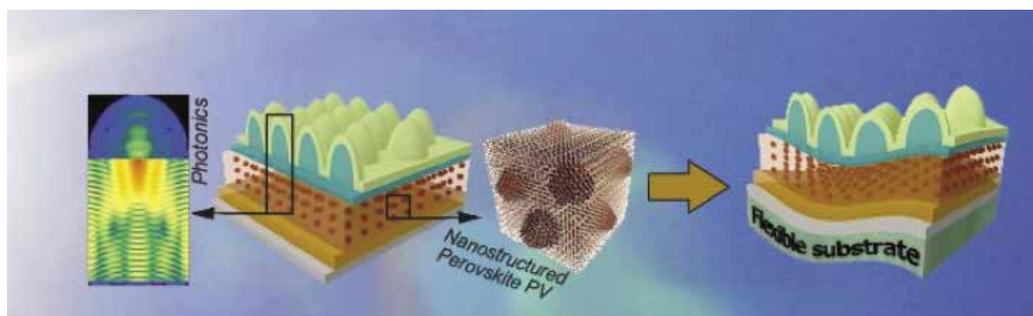


Figura 5 – Representação da tecnologia fotovoltaica desenvolvida no projeto SuPerSolar - A ação combinada do efeito quântico no absorvedor PQ@Perovskite e de aprisionamento de luz (LT - light trapping) por elementos fotónicos permitem a exploração de todo o espectro solar.

O desenvolvimento de tecnologias com baixa pegada de carbono está na base da estratégia nacional para a abordagem de desafios globais tais como a segurança no abastecimento de energia, as alterações climáticas e o crescimento económico. O projeto **H2_PT** tem como objectivo a identificação das condições necessárias ao desenvolvimento de novas tecnologias de produção e armazenamento de energia, propondo-se avaliar o potencial e impacto do hidrogénio enquanto vetor energético e traçar uma estratégia para

o seu desenvolvimento em Portugal, contribuindo para o aproveitamento de recursos endógenos, a diversificação das fontes de abastecimento energético e a redução da dependência energética. A implementação de **ROTEIRO** para a Investigação, Desenvolvimento e Inovação como ferramenta que permita alinhar o desenvolvimento de tecnologia com o investimento, mobilizando as capacidades nacionais existentes é também objetivo, assim como contribuir para o **ROTEIRO** da Estratégia para o hidrogénio como vetor

energético de armazenamento, em projeto twin com a DGE.

Para assegurar o abastecimento energético sustentável na região sudoeste do país, está em curso o projecto **RED PEMFC-SUDOE**, que responde ao desafio através do desenvolvimento da tecnologia PEMFC com a integração de fontes renováveis para a produção de H_2 como objectivo principal. A demonstração de inovadores protótipos **PEMFC** (proton-exchange membrane fuel cell) visando aplicações no sector de transporte, fontes estacionárias e dispositivos portáteis, constituirão os resultados das actividades científicas e técnicas do projecto, para avançar com o desenvolvimento de novos produtos **PEMFC** e aplicações a sectores estratégicos: tecnologias, processos e produtos sustentáveis para uma energia segura, eficiente e limpa. Está prevista a transferência de resultados a utilizadores finais mediante um estudo económico e de mercado, apoiado pelas empresas que formam parte do consórcio e plataformas tecnológicas associadas.

Para estabelecer uma rede transnacional de excelência para avançar na investigação e desenvolvimento na implementação de hidrogénio renovável e no armazenamento e conversão seguros e eficientes, através do design inovador de células de combustível e motores de combustão interna a hidrogénio, está em curso o projecto **HYLANTIC** – Atlantic Network for Renewable Generation and Supply of Hydrogen to promote High Energy Efficiency. Procuram-se soluções eficientes dirigidas a sectores estratégicos na Região Atlântica, beneficiando a indústria regional e gerando um impacto socio-económico positivo.

Os colectores solares térmicos são o principal componente dos sistemas solares para

produção de água quente, para aplicações tais como aquecimento de piscinas, água quente sanitária ou água quente para processos industriais com temperaturas de funcionamento de 20-95°C, bem como de sistemas solares térmicos para aplicações industriais a média temperatura (95°C-250°C). A avaliação do tempo de vida dos componentes chave de coletores para baixas e médias temperaturas (absorvedores, reflectores e vedantes), é o objectivo do projecto **LIFESOLAR**.

O projecto **NEWSOL** (<http://www.newsol.uevora.pt/pt-pt/>) tem como desafio a utilização de energia solar para produção de energia eléctrica de forma mais eficiente, recorrendo a materiais avançados e soluções de desenho de instalação que estão em linha com os objetivos do SetPlan. O LNEG tem uma intervenção significativa ao nível do estudo dos diferentes fluidos de transferência de calor (sais fundidos) e ao nível na compatibilidade e durabilidade dos materiais metálicos em contacto com os sais fundidos.

Ainda na área da energia solar térmica, é de referir o projecto **STAGE**, já terminado (<http://www.lneg.pt/iedt/projectos/512/>). Este projecto teve uma componente dedicada ao desenvolvimento de novos materiais cerâmicos técnicos para receptores volumétricos de centrais termosolares de concentração, designadamente espumas à base de óxidos (mulite revestida com óxido de ferro, alumina castanha e céria), no intuito de avaliar o respectivo desempenho e prever o seu tempo de vida útil. Para tal, foi construída uma instalação experimental, na **PSA-CIEMAT** (Almería, Espanha), para o ensaio ao choque térmico destes novos cerâmicos porosos por exposição directa à radiação solar concentrada, conforme se ilustra na Figura 6 e Figura 7 [1].



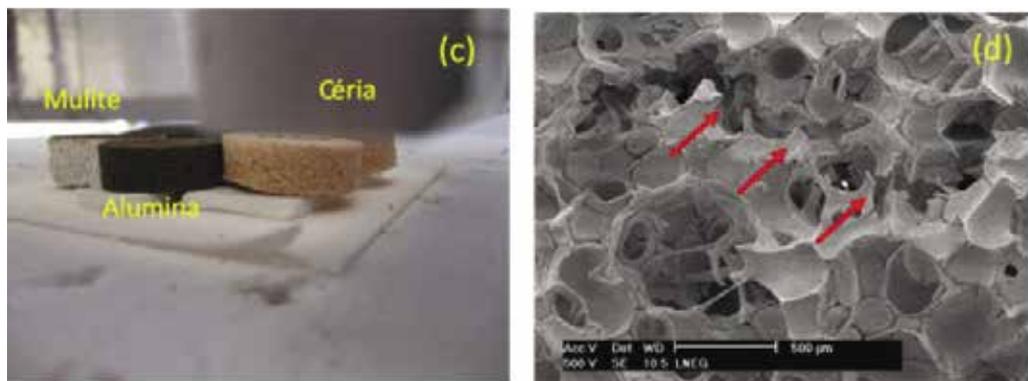


Figura 6. Instalação para ensaio ao choque térmico de materiais para recetores solares na PSA-CIEMAT; (a) vista geral do forno solar SF40 (40 kW), (b) concentrador secundário com sistema de guilhotina, (c) materiais ensaiados e (d) microestrutura obtida por microscopia eletrónica de varrimento onde é notória a propagação de macro-fenda na superfície de uma amostra de alumina para $\Delta T=400$ K, após 150 ciclos (indicada pelas setas).

No quadro da valorização dos recursos nacionais, o projecto **H2CORK** (<http://www.lneg.pt/iedt/projectos/597/>) visa a produção de combustíveis solares, como por exemplo o gás sintético, constituído por misturas de monóxido de carbono e hidrogénio, pela via termoquímica solar, usando cerâmicos à base de céria com a estrutura celular da cortiça [2].



Figura 7. Instalação para a separação de moléculas de água e dióxido de carbono, pela via termoquímica solar, usando radiação solar concentrada como fonte de aquecimento, do PROMES-CNRS; (a) vista geral do forno solar e respectivo reactor, (b) grânulos de céria após ensaio, (c) microestrutura dos grânulos de céria desenvolvidos na Universidade de Aveiro e (d) espumas de céria após ensaio.

CONCLUSÕES

A energia e os materiais são actualmente dois dos principais focos da Ciência e da Tecnologia, nomeadamente devido a preocupações ambientais e de fornecimento. A procura de uma produção

de energia mais barata e mais eficiente passa obviamente pelo desenvolvimento de novos materiais.

A articulação da ciência e engenharia dos materiais com a área da energia é uma questão nacional da maior importância. É esse esforço que tem vindo a ser feito

com sucesso no LNEG, articulando a multiplicidade de competências ali existentes.

Torna-se necessário estimular e promover novas formas de aproveitar as infraestruturas e recursos já criados, públicos e privados, articulando as suas atividades de acumulação e aquisição de competências científicas e tecnológicas, com as necessidades de apoio às empresas. Ou seja: é preciso articular eficientemente a educação e a investigação, instituições de desenvolvimento científico e tecnológico, grandes empresas e PME de base tecnológica, associações empresariais e agências financiadoras da inovação e de transferência de tecnologia.

REFERÊNCIAS

[1] F.A.C. Oliveira, J.C. Fernandes, J. Galindo, J. Rodríguez, I. Canãdas, L.G. Rosa, Thermal resistance of solar volumetric absorbers made of mullite, brown alumina and ceria foams under concentrated solar radiation, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 194 (2019) 121-129

[2] F.A.C. Oliveira, M.A. Barreiros, S. Abanades, A.P.F. Caetano, R.M. Novais, R. C. Pullar, Solar thermochemical CO₂ splitting using cork-templated ceria ecoceramics, *Journal of CO₂ Utilization*, 26 (2018) 552-563.

AGRADECIMENTOS

As actividades aqui brevemente descritas estão enquadradas em projectos financiados com fundos nacionais e europeus: AltaLuz (PTDC/CTM-ENE/5125/2014; FCT); LocalEnergy (PTDC/EA M-PEC/29905/2017; FCT); SuperSolar (PTDC/NAN-OPT/28430/2017; FCT, COMPETE2020); H2_PT (POSEUR, H2020, EU Fundo de Coesão); PEMFC_SUDOE e HYLANTIC (Interreg); LIFESOLAR (PTDC/EMS-ENE/0578/2014; FCT, COMPETE2020); NEWSOL (H2020, GA 720985); STAGE-STE (FP7-ENERGY - Grant agreement ID: 609837); H2CORK (POCI-01-0145-FEDER-016862 e PTDC/CTM-ENE/6762/2014).

M.J.AMARAL

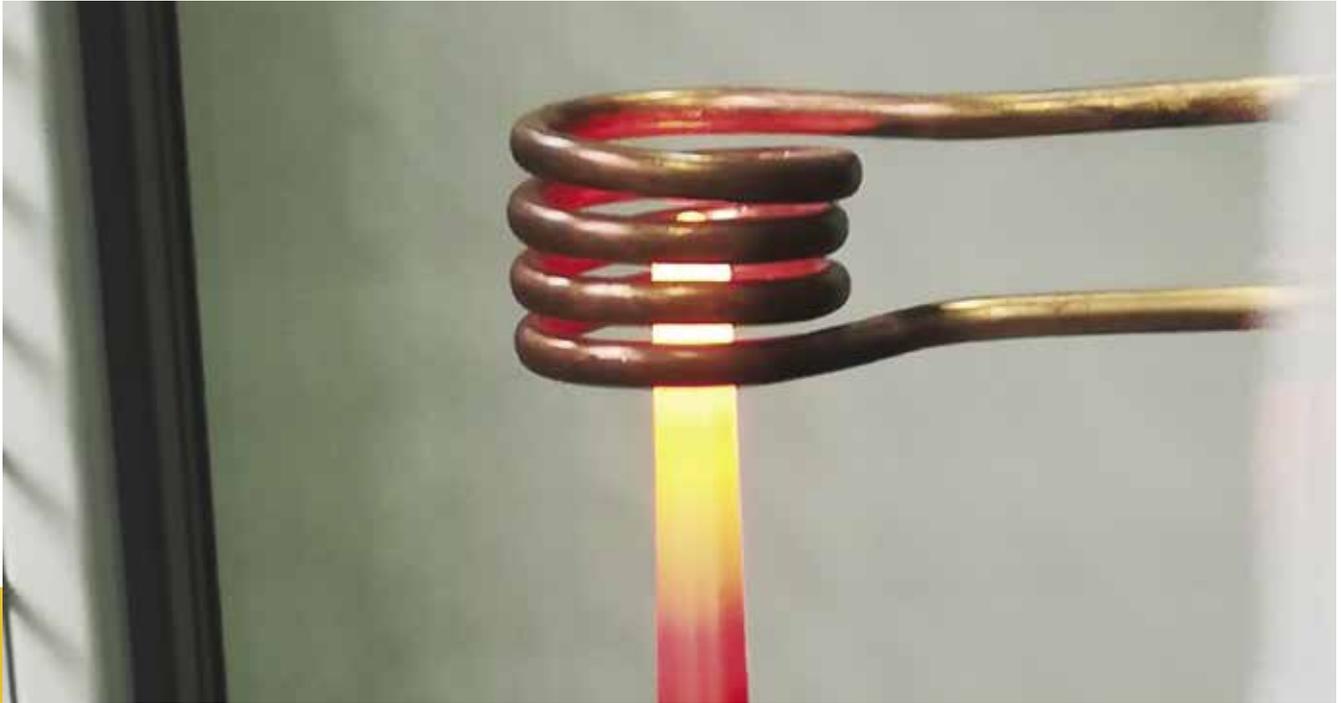
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, LDA



Áreas de Negócio:

- Metalomecânica Geral
- Maquinação CNC
- Equipamentos industriais para:
 - Tratamentos térmicos
 - Fundição de alumínio
 - Forjamento
 - Brasagem
 - Câmaras de vácuo
- Equip. para prototipagem rápida.
- Incineração
- Soldadura robotizada

M.J.Amaral - Equipamentos Industriais Lda
 Rua da Bouça da Aguincheira
 São Pedro de Castelões - Ap. 141
 3730-901 Vale de Cambra - Portugal
 Phone: +351 256 464 620
 Web: www.mjamaral.pt
 E-mail: comercial@mjamaral.pt



ProCoating

ADVANCED PROCESSES FOR COATING

ABOUT

Innovative surface engineering solutions for molding components in the glass industry

PARTNERS



WITH COLLABORATION OF:



CONTACTS

intermolde@intermolde.pt

FUNDED BY



CO-FINANCED BY:

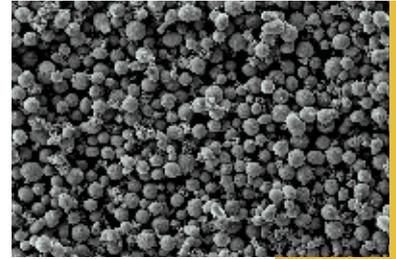
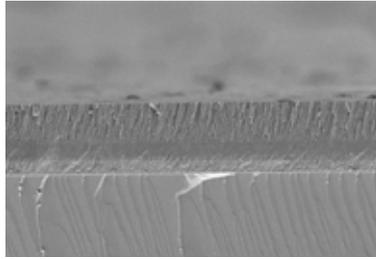


WHAT IS?

Surface engineering solutions that allows reducing the wear, the cracking problems and increase the lifetime of the tools in the glass industry, making the whole process more efficient, by reducing the number of rejected parts and the maintenance time as well as by decreasing the production cycle duration and improving the process from the energetic point of view.

WHY IS IT NEEDED?

One of the main problems in the glass industry is the fast wear and degradation of the surface of molding tools used in the glass manufacturing process which, in direct contact with the melted glass, are subjected to severe conditions of abrasion, corrosion and fatigue at high temperatures. The wear occurring in these components (plungers, molds, mouthpieces, etc.) has led, in the last years, to efforts to develop surface engineering solutions to overcome this problem.



MAIN GOALS

i) Development of internal skills to adapt the manufacturing process of molds to the application of surface engineering solutions in an HVOF pilot line;

ii) Study and development of surface engineering solutions based on sputtering technology – PVD, for the deposition of thin films with good mechanical properties at high temperature, which could support the harsh conditions of use and increased durability;

iii) Development of thick and thin coatings with self-lubricating properties.

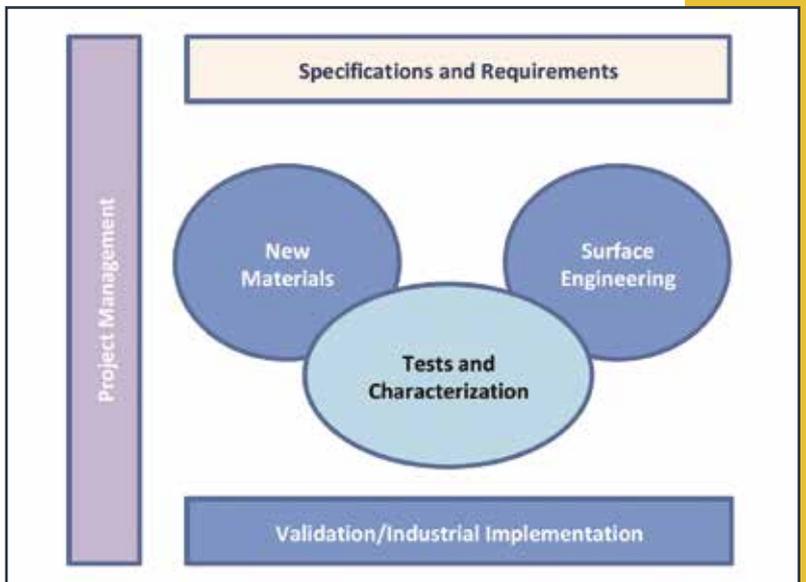
FIELDS OF ACTIVITY >>>>>

ACTIVITIES DESCRIPTION

Activity 1 is dedicated to the characterization of the procedures, processes, sequences and parameters currently used in the manufacture of molds (essentially machining) as well as in the manufacturing process of glass containers.;

Activity 2 is intended to optimize the deposition of thick coatings similar to those previously developed in another project for plungers protection; moreover, the importance of adding elements / compounds which allow these coatings to have self-lubricating properties in order to eliminate the use of liquid lubricants;

Activity 3 aims the development of substrates suitable for the deposition of thin coatings allowing the optimization of their adhesion by the application of annealing thermal treatments and surface hardening thermal treatments. The influence of the introduction of adhesion layers on the final behavior and the development of self-lubricating thin coatings are also objectives



Activity 4 is dedicated to optimizing the design and shape of the molds to allow coating incorporation and efficient heat flow and to adapt the machining, coating and re-melting processes to the complex surfaces of the different components;

Activity 5 concerns the adaptation of the appropriate infrastructures and facilities to the installation of the pilot line of HVOF coatings in the promoter company as well as to the planning of the dynamics necessary for the production of molds for the incorporation of thick coatings (HVOF) and thin coatings (PVD);

Activities 6 and 7 deal with more administrative aspects, referring respectively to the dissemination of project results and to all aspects of management, including those related to intellectual property and exploitation of results.



PROGRAMA DE RESIDÊNCIAS ARTÍSTICAS INTERNACIONAIS
COLOCA A MARCA NA VANGUARDA DA INOVAÇÃO E *DESIGN*

VISTA ALEGRE ATRAI TALENTOS DE TODO O MUNDO

O laboratório criativo *ID Pool* – *International Design Pool* da Vista Alegre, atraiu, desde 2011, duas centenas de criadores provenientes dos quatro cantos do mundo. É no âmbito deste inovador programa de residências artísticas que têm nascido alguns dos *best sellers* da marca, e que a Vista Alegre, que este ano celebra o seu 195º aniversário, se reinventa diariamente através da excelência do *design* dos seus produtos, repetidamente laureado pelos mais prestigiados prémios internacionais do setor.

A Vista Alegre, em Ílhavo, é, desde 2011, o ponto de encontro de jovens criadores emergentes provenientes dos quatro cantos do planeta. Pelas ruas do colossal complexo industrial visionário fundado em 1824 por José Ferreira Pinto Basto, frente às tranquilas margens do Rio Boco, já passaram mais de duas centenas de *designers* emergentes, oriundos de 26 países, tão equidistantes e culturalmente diversos, entre os quais a Crimeia, o Líbano, a Nova Zelândia, a Rússia, a Indonésia, ou o Japão.

O Complexo da Vista Alegre, que inclui a unidade fabril pioneira do país na produção de porcelana, um dos mais completos bairros operários do país, que inclui um teatro, um museu, uma Capela setecentista que é Monumento Nacional há mais de um século, e um hotel de cinco estrelas, está no epicentro de um dos mais dinâmicos e bem sucedidos programas de residências artísticas do mundo – o *ID Pool* (*International Design Pool*) da Vista Alegre, um laboratório artístico onde têm nascido alguns dos maiores sucessos comerciais

VIA
International
Design Pool

ID
POOL

EMPRESAS

internacionais da marca.

O *ID Pool* da Vista Alegre foi criado e instalado num palácio do Bairro Operário da Vista Alegre, integralmente recuperado para esse efeito, há oito anos, numa altura particularmente desafiante para a marca centenária de porcelana.

Acabada de sair de uma severa crise, que ameaçou seriamente a sua continuidade, a Vista Alegre tinha um longo caminho a trilhar para se reposicionar nacional e internacionalmente, num mercado cada vez mais competitivo e global. A estratégia que reergueu a marca que faz parte do imaginário, da cultura e da vida de seis gerações de portugueses foi assente nos pilares da inovação e do *design*, e das parcerias com artistas.

Desde a sua génese que a Vista Alegre trabalha em diálogo artístico com criadores consagrados nas várias disciplinas artísticas. Essa ligação à arte e ao *design* foi intensificada após a aquisição da Vista Alegre, em 2009, pelo Grupo Visabeira, impulsionando o seu reposicionamento enquanto insígnia global de luxo, e alavancando a expressiva expansão internacional da marca centenária que, no exercício de 2018, obteve os melhores resultados da sua história de 195 anos, com as exportações a valerem 67% da sua produção, e as vendas e os lucros a avançarem, respetivamente, 17% e 54% face ao período homólogo.

A instalação do projeto de residências artísticas *ID Pool* foi um passo natural do foco no *design*, inovação e internacionalização. O objetivo por trás da sua criação foi claro: instalar um laboratório criativo de desenvolvimento de novos produtos e leituras das matérias-primas fascinantes que são a porcelana, o vidro e o cristal, num permanente esforço de reinvenção e antecipação de tendências de mercado.

Uma aposta ganha, já que alguns dos produtos que foram concebidos no âmbito deste ambicioso projeto são atualmente *best sellers* da marca, alcançando, inclusive, a distinção de alguns dos mais prestigiados prémios internacionais que premeiam a excelência do *design*, como *Red Dot Design Award*, *German Design Award*, *Iconic Design Award*, ou *Wallpaper Design Award*.

Ao criar uma incubadora de talentos internacional dentro da sua fábrica, a marca passou a ter o mundo inteiro à sua porta, em linha com a sua ambição de se afirmar como um dos principais players deste mercado a nível global.

Para a Vista Alegre, que conta com uma equipa fixa de uma dezena de designers internos, cujo trabalho tem sido reconhecido nacional e internacionalmente, o “sangue novo” que chega a Ílhavo todos os meses, há oito anos esta parte, através do *ID Pool*, é uma mais-valia.





Os criadores, das mais variadas disciplinas artísticas, que são selecionados para integrar o programa de residências artísticas da Vista Alegre chegam a Portugal cheios de entusiasmo e trazem na bagagem ideias, vivências, tecnologias e culturas muito distintas. Em resultado, desafiam diariamente a fábrica e a linha de produção a pensar “fora da caixa”, apresentando renovadas visões artísticas para o futuro da indústria cerâmica e vidreira mundial.

As residências *ID Pool* da Vista Alegre têm a duração de um a três meses, nos quais a Vista Alegre garante o alojamento e a alimentação dos designers convidados. A estadia transforma-se numa “imersão” total no quotidiano da fábrica, que conduz, posteriormente, ao processo criativo.

É promovido o acesso e formação dos *designers* a todos os departamentos de produção nas fábricas de porcelana, e de vidro e cristal, e estes adquirem uma visão transversal da marca, dos seus valores, história e *expertise*, e de todos os estádios que envolvem a conceção de um novo produto. Para além dos projetos com os quais se candidataram, recebem *briefings* da marca e desenvolvem novos produtos ao longo da sua estadia.

Se forem bem-sucedidos, os projetos ganham passaporte direto para as linhas de produção da fábrica e, daí, para as prateleiras das lojas em todo o mundo. Em troca, os criadores recebem não só os “royalties” das vendas da coleção, como também publicidade e afirmação no mercado com peças da Vista Alegre assinadas por si.

ARTE E DESIGN: UMA QUESTÃO DE ADN

Ao longo da longa história da empresa, as peças da Vista Alegre transformaram-se e atualizaram-se de acordo com os padrões estéticos, refletindo uma preocupação continuada de modernidade e de adequação às linguagens e correntes artísticas.

Em pleno século XXI, a Vista Alegre compreendeu a importância do *design* enquanto fator de diferenciação no mercado global, e tem vindo a reinventar-se, num equilíbrio que, de um lado, assenta no respeito e valorização das suas raízes clássicas, e pelo outro, aposta na contemporaneidade.

Outro dos importantes eixos de reposicionamento e afirmação internacional da Vista Alegre passou pelo estabelecimento de parcerias com *designers* e marcas de luxo globais. Exemplos dessa ligação estreita são a parceria firmada em 2013 com a Christian Lacroix – que reforçou a posição da marca na Europa, a Oriente, no Brasil e nos EUA –; a parceria com Óscar de la Renta, apresentada nos EUA; e ainda com a insígnia de luxo mexicana Pineda Covalin, reforçando a notoriedade da marca portuguesa no continente sul-americano. A ligação a grandes nomes do *design* contemporâneo, como Jaime Hayon, Ross Lovegrove, Marcel Wanders, entre muitos outros, reforçou a expansão internacional da marca.

Em todas as parcerias firmadas, os designers consagrados, e com a sua própria linguagem e assinatura criativa, compreenderam a essência tradicional da Vista Alegre e transformaram-na em contemporânea, não esquecendo as suas origens.

OS BEST SELLERS DO ID POOL DA VISTA ALEGRE

TRANSATLÂNTICA, BY BRUNNO JAHARA

Brunno Jahara, um dos primeiros *designers* a frequentar o *ID Pool*, criou um dos *best sellers* da Vista Alegre, no segmento mesa: o serviço Transatlântica, que remete para uma travessia imaginária entre Portugal e o Brasil através do Atlântico, com preciosos detalhes em ouro. Líder de vendas, o Transatlântica foi destacado pelo *The New York Times*, em 2013, como símbolo de um intercâmbio cultural de 500 anos entre Portugal e o Brasil. Esta coleção recebeu, em 2016, uma nomeação para os *German Design Awards*.



CALÇADA PORTUGUESA, BY MANOELA MEDEIROS

Calçada Portuguesa é uma criação da designer brasileira Manoela Medeiros, também ela concebida no âmbito do programa de residências artísticas *ID Pool* da Vista Alegre. Composta por um conjunto de quatro chávenas de café, quatro pratos de sobremesa, um açucareiro, uma bandeja para tortas e um prato de bolo com pé grande, a coleção traça quatro percursos emblemáticos pela capital portuguesa e reproduz, com precisão e criatividade, o rendilhado a preto e branco que está na base dos mais refinados padrões, evocando simultaneamente a sua textura e relevo.

Esta coleção foi uma das mais premiadas pelos mais importantes prémios internacionais de design durante o ano transato – recebeu um *Red Dot Award Winner 2017* e um *German Design Award Winner 2018*.



ORQUESTRA, BY DAVID RAFFOUL E NICOLAS MOUSSALLEM

Criado pelos designers libaneses David Raffoul e Nicolas Moussallem, no âmbito do *ID Pool* da Vista Alegre, Orquestra é um serviço de mesa que conjuga diferentes padrões de linhas geométricas, recriando a complexidade da harmonia e dos ritmos musicais. Cada linha, na sua diferente direção e densidade, reflete a disciplina e excelência necessárias para executar uma sinfonia.

Esta é uma coleção premiada com um *Wallpaper Design Award 2015*, um *Red Dot Design Award 2015* e o *German Design Award Winner 2017*.



CARRARA, BY COLINE LE CORRE

O encontro entre a porcelana e os desenhos inspirados no nobre mármore Carrara, numa abordagem geométrica muito refinada, cria a ilusão de que cada peça do conjunto pode transformar-se noutra. Uma coleção de mesa inesperada, da autoria da designer francesa Coline le Corre, que nasceu no *ID Pool* da Vista Alegre. Distinguida com uma menção honrosa pelo *German Design Award 2017* e com um *Red Dot Award Winner 2017*.

MIDNIGHT, BY MENDEL HEIT

A coleção *Midnight*, criada pelo *designer* alemão Mendel Heit, no âmbito do *ID Pool* da Vista Alegre, resulta da combinação entre a herança cultural da Vista Alegre, o design mais contemporâneo e técnicas decorativas inovadoras. As formas são inspiradas em peças clássicas e a decoração reinterpreta os desenhos do serviço de mesa *Margão*. *Midnight* une, de forma inventiva e tecnicamente complexa, técnicas utilizadas na

porcelana e no cristal. Depois de produzidas e decoradas na fábrica de porcelana, as peças viajam até ao mundo do cristal, em Alcobaça, onde, através da gravação por jato de areia se obtém, entre o azul grande fogo, o relevo dos desenhos florais.

Uma coleção distinguida pelo *Iconic Design Award 2018*, e nomeada para os *German Design Awards 2017*.



KALEIDO, BY KEVIN SMEEING

Fascinado pela longa tradição artesanal na lapidação do cristal, o *designer* holandês Kevin Smeeing aproveitou a sua estadia no *ID Pool* da Vista Alegre para criar uma caixa inovadora e de enorme complexidade técnica, totalmente lapidada à mão pelos vidreiros altamente especializados da Vista Alegre, na sua fábrica localizada no Casal da Areia, em Alcobaça.



O MUNDO À PORTA DA VISTA ALEGRE



INSCRIÇÕES E INFORMAÇÕES SOBRE O ID POOL:

www.vistaalegre.com/idpool

***PARTICIPE NA
PRÓXIMA EDIÇÃO***



***Se tiver interesse em participar na próxima edição da
Ciência & Tecnologia dos Materiais, através de colaboração
editorial e/ou presença comercial, contacte-nos através:
comunicacao@spmateriais.pt***

DIA MUNDIAL DOS MATERIAIS 2019

A SPM comemora anualmente o Dia Mundial dos Materiais desde 2003. A comemoração é feita em colaboração com o Colégio de Engenharia de Materiais da Ordem dos Engenheiros e decorre no âmbito da FEMS-Federation of the European Materials Societies.

DIA MUNDIAL DOS MATERIAIS

ANO	LOCAL E DATA	ORGANIZAÇÃO
2003	Lisboa, Sede Ordem dos Engenheiros 5 de Novembro	SPM (Marat Mendes) + OE/Colégio Nacional de Engenharia de Materiais (Manuela Oliveira)
2004	Porto, FEUP Dept de Eng ^a Metalúrgica e de Materiais 3 de Novembro	FEUP-DEMM (Horácio Maia e Costa)
2005	Coimbra, Instituto Pedro Nunes 2 de Novembro	IPN (Maria Teresa Vieira)
2006	Aveiro, Universidade Dept Engenharia Cerâmica e do Vidro 3 de Novembro	Universidade de Aveiro-DECV (Maria Helena Fernandes)
2007	Lisboa, IST 7 de Novembro	IST-Dept Engenharia de Materiais (Rogério Colaço)
2008	Guimarães, Universidade do Minho 5 de Novembro	Universidade do Minho, Dept Polímeros (Ana Vera Machado)
2009	Lisboa, Sede OE 4 de Novembro	SPM (Moura Bordado) + OE/Colégio Nacional de Engenharia de Materiais (Manuela Oliveira)
2010	Porto, FEUP Dept de Eng ^a Metalúrgica e de Materiais 3 de Novembro	FEUP-DEMM (Manuel Vieira)
2011	Caparica, FCT/UNL 2 de Novembro	FCT/UNL, Dept de Ciência dos Materiais (Rodrigo Martins)
2012	Lisboa, Sede da Ordem dos Engenheiros 7 de Novembro	IST/PM + Ordem dos Engenheiros Região Sul (Patrícia Carvalho)
2013	Coimbra, Sede OE Região Centro 6 de Novembro	SPM (Teresa Vieira + Paula Vilarinho) + OE/ Colégio Regional Centro de Engenharia de Materiais (Gustavo Carvalho)
2014	Aveiro, Universidade Dept Engenharia de Materiais e Cerâmica 5 de Novembro	U Aveiro-DEMaC (Mário Ferreira)
2015	Lisboa, Sede Ordem dos Engenheiros 4 de Novembro	SPM (Paula Vilarinho) + OE/Colégio Nacional de Engenharia de Materiais (Manuela Oliveira)
2016	Guimarães, U. Minho 2 de Novembro	U Minho-Dept Eng ^a Mecânica (Cândida Vilarinho) e Dept Física (Sandra Carvalho)
2017	Covilhã, UBI 8 de Novembro	UBI (Paulo Reis e Abílio Silva)
2018	FEUP 7 de Novembro	FEUP, DEMM e DEMec (Jorge Lino e Manuel Vieira)

Todos os anos é organizado um concurso visando distinguir as melhores teses sobre Ciência e Engenharia de Materiais de estudantes finalistas do 2º ciclo de cursos das áreas de Ciências e Engenharia, incluindo os Institutos Politécnicos, referentes aos dois anos lectivos anteriores. Os prémios têm sido atribuídos pela SPM (Prémio SPM) e pela Ordem (Prémio Ordem dos Engenheiros) ambos de valor monetário.

Em 2003 e 2004, para além destes dois prémios, foi também atribuído o Prémio FEMS. Em 2005, o Prémio SPM foi atribuído em parceria com a FEMS e o IOM3 (Institute of Materials, Minerals and Mining). Em 2011, registou-se a colaboração da E-MRS (European Materials Research Society), com o Prémio E-MRS.



Beatriz Coelho vencedora do FEMS award to best thesis in Europe e Brett Suddell, Past President of FEMS

Em 2019, realiza-se a segunda edição deste prémio no EUROMAT 2019, em Estocolmo e a SPM será representada pelo vencedor do Prémio SPM de 2018, Rafael Vieira, com a tese "Numerical Micromechanical Analysis on the Influence of Monocrystalline Parameters on the Elastic and Yielding Response of Polycrystalline Aggregates", realizada na FEUP-Departamento de Engenharia Mecânica.

Este ano, a comemoração do DIA MUNDIAL DOS MATERIAIS vai decorrer em Coimbra, no dia 6 de Novembro (4ª feira).

Quem obtiver o Prémio SPM 2019 apresentará a sua tese na conferência Junior EUROMAT 2020 (5-9 Julho, Granada, Espanha), sendo a respectiva deslocação e estadia financiadas pelo Prémio SPM.

Desde o ano de 2017, que as teses premiadas no Dia Mundial dos Materiais com o Prémio SPM, são levadas a concurso internacional e premiadas pela Federação Europeia de Sociedades de Materiais (FEMS).

A primeira edição deste prémio internacional teve lugar no EUROMAT Junior 2018 sendo atribuído o FEMS award to the best master thesis in Europe, à representante portuguesa, Beatriz Coelho com a tese "A Digital Microfluidics Platform for Loop-Mediated Isothermal Amplification of DNA", realizada no Departamento de Ciência dos Materiais (Orientador: Professor Doutor Rui do Nascimento Igreja) e no Departamento de Ciências da Vida (Co-orientador: Professor Doutor Pedro Viana Baptista) da Universidade Nova de Lisboa, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia de Materiais.



Professor Doutor Albano Cavaleiro, membro do CD da SPM; Rafael Vieira, vencedor prémio melhor tese de mestrado e Professora Doutora Paula Vilarinho, presidente da SPM

O Prémio Ordem dos Engenheiros mantém-se como prémio pecuniário no valor de quinhentos Euros. As teses a submeter deverão ter um carácter prático, através do desenvolvimento de um material/produto/tecnologia com aplicação industrial a curto prazo e com incidência nos materiais utilizados.

Os Departamentos das Escolas de Engenharia, incluindo os Institutos Politécnicos são convidados a seleccionar as melhores teses (versões definitivas após submissão a provas e aprovação por um júri de mestrado), indicando a que Prémio concorrem e enviar as respectivas candidaturas, nas condições definidas pelos regulamentos. Toda a informação está disponível em <http://spmateriais.pt/site/>.



MATERIAIS 2019

Materials for a better life

Os Congressos **MATERIAIS** da **SPM** realizam-se a cada dois anos. Pretende-se que estes encontros sejam um Fórum para partilha de ideias, envolvam a comunidade nacional e internacional, ajudem a fomentar parcerias e colaborações, eduquem e, acima de tudo, sejam um veículo de disseminação dos últimos avanços na área dos Materiais.

O **MATERIAIS** contribui diretamente para um dos maiores objetivos da **SPM**, que é ser a VOZ dos Materiais em Portugal.

O **MATERIAIS** 2019 - *Materials for a better life*, foi o XIX Congresso da **SPM** - Sociedade Portuguesa de Materiais e decorreu de 14 a 17 de abril na Reitoria da Universidade Nova de Lisboa (Campus de Campolide). Foi um enorme sucesso, com numerosos participantes nacionais e estrangeiros de alto nível, como se pode avaliar pelas apresentações e conferências plenárias: 430 participantes (cerca de 30% estrangeiros); 360 apresentações (170 orais e 190 posters); 4 *plenary talks*; 7 *keynote lectures* e 13 *invited talks*.

No acto de abertura, a Presidente da **SPM**, Professora Paula Vilarinho, realçou a importância que têm os congressos **MATERIAIS** para a **SPM**. Expressou a sua gratidão à Comissão Organizadora do Congresso pela dedicação, entusiasmo e empenho que colocaram neste evento. Agradeceu também o apoio dos patrocinadores do evento e a presença de todos os convidados e participantes.



Sessão de abertura Materiais 2019
Prof. Virgílio Cruz Machado (Director da FCT/UNL, Prof. Elvira Fortunato (Conference Chair), Prof. Rodrigo Martins (Conference Chair), Prof. Paula Vilarinho (Presidente da SPM), Prof. João Paulo Borges (Comissão organizadora), Prof. João Pedro Veiga (Comissão organizadora), Prof. Hugo Águas (Comissão organizadora), Prof. Rui Igreja (Comissão organizadora), Prof. Ehrenfried Zschech (Fraunhofer IKTS and Past President of Federation of European Materials Societies FEMS)



Paula Vilarinho,
Presidente da SPM
na sessão de abertura



No dia 14, dia que antecedeu o início do Congresso, realizou-se uma Escola, organizada pelo Prof. Dr. Luís Pereira e Prof. Dr. Pedro Barquinha, com o apoio da TCM-ET, Sociedade Portuguesa de Materiais e BET-EU



Participantes Materiais 2019

Foi também atribuído, pela 3ª vez, o Prémio SPM de Carreira e Reconhecimento, criado em 2015. Este ano, o júri decidiu atribuir o prémio ex aequo ao Professor Doutor Leopoldo Guimarães e ao Professor Doutor Ricardo Bayão Horta.



Galardoados Prémio Carreira e Reconhecimento SPM - Professor Doutor Leopoldo Guimarães, Professor Doutor Bayão Horta.

É de relevar a importância deste prémio, já que o reconhecimento da excelência na inovação tecnológica e investigação científica na área de Materiais faz parte da missão da SPM, que se congratula com o prestígio atingido no concurso, sinal da elevadíssima e inegável qualidade do trabalho que se desenvolve em Portugal e da vitalidade da SPM.



A entrega do prémio foi feita pelo Professor Doutor Jorge Lino, vice-presidente da SPM e pelo Professor Doutor Ehrenfried Zschech, antigo presidente da FEMS, membro do Conselho Diretivo da MRS e diretor do Fraunhofer Institute.

Todas as fotos disponíveis em:
<http://www.materiais2019.pt/fotografias/>

O próximo congresso da SPM, **MATERIAIS 2021 e 11TH INTERNATIONAL MATERIALS SYMPOSIUM**, com o tema **RESHAPING THE FUTURE**, terá lugar em Lisboa, no Instituto Superior Técnico, em Junho, tendo como presidentes da Comissão Organizadora os Professores Carlos Baleizão e José Paulo Farinha.

Será também o **2nd IBERIAN CONGRESS ON MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY**, organizado em colaboração com a **SOCIEMAT-Sociedade Espanhola de Materiais**, no quadro do acordo SPM-SOCIEMAT.



DIA MUNDIAL DA SENSIBILIZAÇÃO PARA A CORROSÃO VI ENCONTRO

No passado dia 24 de abril, a Divisão Técnica de Corrosão e Proteção de Materiais (DTCPM) da Sociedade Portuguesa de Materiais, organizou o VI Encontro que teve como tema o "DIA MUNDIAL DA SENSIBILIZAÇÃO PARA A CORROSÃO"

O encontro realizou-se na Central Tejo (Sala dos Geradores) e contou com o apoio da Fundação EDP.



Fig 1 Luís Pereira (Conselho Diretivo da SPM), Eng. Miguel Mateos (Administrador da EDP Produção), Teresa Diamantino (Coordenadora DTCP)



FIG 2 Rute Fontainha, LNEC

FIG 3 Pedro Pedroso, LIBPhys e Archeofactu

FIG 4 Maria João Correia, LNEC

FIG 5 Carlos Mesquita, OZ Lda

FIG 6 Sessão de Debate, com a participação dos oradores convidados e a moderação de Zita Lourenço (Coordenadora DTCPM)

SEMINÁRIO DE FABRICO ADITIVO

INVESTIGAÇÃO EM CURSO NO INEGI E FEUP



O fabrico aditivo registou nos últimos anos um crescimento exponencial. No INEGI e na FEUP estão a ser realizadas actividades de investigação, no âmbito de diferentes projectos e dissertações de Mestrado e Doutoramento, com resultados muito promissores.

O seminário decorreu nos dias 14 e 15 de maio, no auditório do INEGI. Tratou-se de uma organização conjunta entre o INEGI e a FEUP e contou com o apoio da Sociedade Portuguesa de Materiais.

A organização esteve a cargo do Professor Doutor Jorge Lino.

Com este seminário, pretendeu-se divulgar às empresas, investigadores, docentes e estudantes, os equipamentos que estão disponíveis no campus da FEUP e as potencialidades destas tecnologias para o fabrico de componentes.





SUSTAINABLE AND SMART ADVANCED MANUFACTURING MEETING

***O 1º EVENTO SUSTAINABLE AND SMART ADVANCED
MANUFACTURING MEETING (SAMMEETING) IRÁ DECORRER
NOS DIAS 23 E 24 DE OUTUBRO DE 2019, NA ESCOLA DE
ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO MINHO, EM GUIMARÃES.***

O SAMmeeting é um encontro para a divulgação de trabalhos de investigação e protocolos industriais no campo da manufatura avançada, sustentável e inteligente. No âmbito deste encontro será feita a apresentação do projeto AdvUSMachining : Maquinagem assistida por ultrassons, financiado pelo Programa Mais Tec Norte 2020 do qual o ISQ é parceiro e, cujo principal objetivo visa o desenvolvimento, fabrico e aplicação de um protótipo acoplável a centros de maquinagem, capaz de permitir o corte assistido por ultrassons.

Este evento conta com o apoio da Divisão Técnica de Materiais Estruturais da SPM

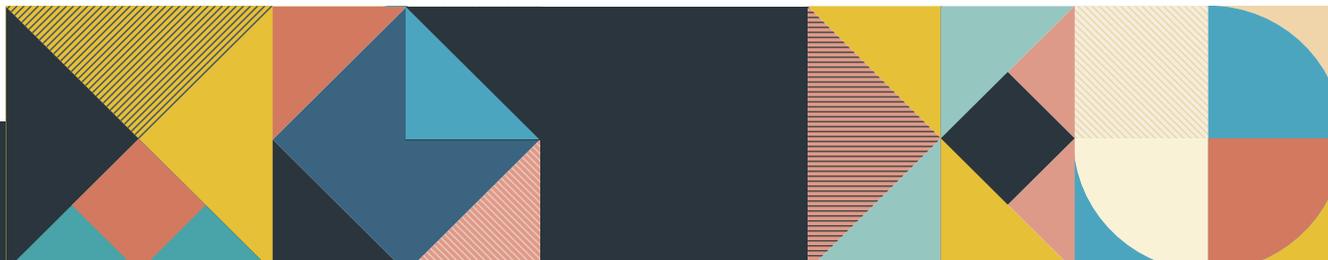




DEMM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA
E DE MATERIAIS



SÓCIOS COLETIVOS



Caro sócio, **JÁ SE INSCREVEU NA BOLSA DE PERITOS DA SPM?**

A SPM disponibiliza no seu site uma lista de peritos que pode consultar se necessitar de apoio, colaborações ou serviços.

Junte-se a esta lista!

Albano Cavaleiro
António Correia Diogo
Carlos Baleizão
César Sequeira
Daniel Marinha
Diogo M. F. Santos
Eduardo Constantino André
Fernando Castro
Filipe Fernandes
Hélder Puga
Hélio Jorge
Horácio Maia e Costa
Hugo Águas
João Bordado
João Salvador Fernandes
Jorge Alexandre Silva
Jorge Lino Alves
José Cruz Oliveira
Luís Gil

Luís Pereira
Manuel Vieira
Marcelo Moura
Maria Ascensão Lopes
Maria Cristina Parreira
Maria de Fátima Montemor
Maria de Fátima Vaz
Mário Ferreira
Paula Vilarinho
Pedro Amaral
Ricardo Cláudio
Robert Pullar
Rosa Marat-Mendes
Sandra Carvalho
Simone Rodrigues
Teresa Morgado
Teresa Monteiro
Verónica Bermudez
Victor Neto

Para mais informações consulte o nosso site:
<http://spmateriais.pt/site/spm/peritos-spm/>



INSTITUTO PEDRO NUNES

Criado por iniciativa da Universidade de Coimbra em 1991, o Instituto Pedro Nunes (IPN) é uma instituição privada sem fins lucrativos, que visa promover a inovação e a transferência de tecnologia, estabelecendo a ligação entre o meio científico e tecnológico e o tecido produtivo.

MISSÃO

Contribuir para transformar o tecido empresarial e as organizações em geral promovendo uma cultura de inovação, qualidade, rigor e empreendedorismo, assente num sólido relacionamento universidade/empresa e actuando em três frentes que se reforçam e complementam:

- **Investigação e desenvolvimento tecnológico, consultadoria e serviços especializados;**
- **Incubação e aceleração de ideias e empresas;**
- **Formação especializada e divulgação de ciência e tecnologia.**

No **LED&MAT (Laboratório de Ensaios, Desgaste e Materiais)** desenvolvemos atividades de I&DT e transferência tecnológica para empresas, na área de materiais e processos de fabrico, nos domínios da modificação de superfícies, eficiência energética, fabricação por tecnologias inovadoras, realizando também uma multiplicidade de ensaios de caracterização de propriedades físicas, químicas, mecânicas e tribológicas em diferentes tipos de materiais. Pretendemos contribuir para a simbiose perfeita entre a investigação fundamental e a aplicação industrial.

O QUE FAZEMOS

A nossa ação começa na conceção, passa pela investigação e desenvolvimento e finaliza-se no protótipo e na aplicação final. Em todo o processo utilizamos métodos de desenvolvimento de produto, geramos produtos/processos inovadores, melhoramos a eficiência produtiva e fornecemos soluções à medida das necessidades dos nossos clientes.

Para materializarmos as colaborações, concebemos e desenvolvemos projetos nacionais e europeus de I&DT, bem como ações de transferência e de demonstração tecnológica para os parceiros/clientes nas mais diversas áreas de materiais. Em paralelo, fornecemos consultoria a empresas no domínio dos materiais, recorrendo ao nosso *know-how* e a uma extensa infraestrutura de equipamentos de ensaio.

A formação especializada nos domínios técnico-científicos que abrangemos é uma das capacidades que também potenciamos no meio empresarial conforme as necessidades dos nossos parceiros.

O **LED&MAT** é acreditado pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC), segundo o referencial normativo NP EN ISO/IEC 17025:2005, para um diversificado conjunto de ensaios, os quais podem ser consultados no Anexo Técnico de Acreditação.

www.ipn.pt/laboratorio/LEDMAT
ledmat@ipn.pt

+351 239 700 976



CIÊNCIA & TECNOLOGIA ^{DOS}
MATERIAIS



CONTACTOS

www.spmateriais.pt

comunicacao@spmateriais.pt

965 756 172