

# Definição das principais áreas de inovação sectoriais - moldes e ferramentas especiais

**ESTUDO PRODUTECH**

**Principais Áreas de Inovação no Sector de Moldes e Ferramentas Especiais**

**Rui Soares  
CENTIMFE  
15-10-10**

## ÍNDICE

1. Introdução .....	4
2. Contexto e objectivos.....	5
3. Desenvolvimento das tecnologias nucleares de fabrico.....	6
3.1. Maquinação a alta velocidade.....	6
3.2. Maquinação a cinco eixos.....	7
4. Desenvolvimento dos processos não convencionais de fabrico .....	8
4.1. Tecnologias Laser .....	8
4.2. Prototipagem Rápida – PR.....	9
4.3. Rapid Manufacturing .....	10
4.4. Rapid Tooling .....	11
5. Novos materiais e alteração das propriedades nas ferramentas .....	12
5.1. Desenvolvimentos e inovações .....	14
6. Desenvolvimentos das ferramentas de apoio ao projecto e concepção .....	15
6.1. CAD/CAM.....	15
6.2. CAE.....	16
7. Optimização dos sistemas produtivos.....	17
7.1. Células de fabrico flexível .....	17
7.3. Tecnologia Multifunções .....	18
8. Automatização e Controlo da Produção .....	20
8.1. Sistemas de gestão de ferramentas .....	20
8.2. Mock-ups, digitais e baseados em conhecimento, de ferramentas .....	21
9. Micro-ferramentas e Micro-produção .....	22
10. Novos materiais e tecnologias para ferramentas de baixos volumes de produção .....	24
11. Processos de fabrico amigos do ambiente .....	25
12. Bibliografia .....	27

## 1. Introdução

O sector Moldes e Ferramentas Especiais (correntemente designado de *Engineering and Tooling*) emerge do desenvolvimento da Indústria de Moldes e Ferramentas Especiais Portuguesa, que progressiva e consistentemente, foi alargando a sua cadeia de valor e de oferta ao mercado, posicionando-se cada vez mais como fornecedor de soluções para o desenvolvimento de produtos à escala global (integrando a concepção e desenvolvimento de produto, a prototipagem, a concepção e o desenvolvimento de moldes e de ferramentas especiais, e o fabrico de produtos e componentes, e sua montagem, em materiais poliméricos, compósitos e metálicos).

A evolução histórica deste sector patenteia a capacidade das empresas captarem novos mercados, de se modernizarem e de integrarem novas tecnologias e conhecimento. Em termos de domínio tecnológico, são várias as esferas em que as empresas do sector se destacam, permitindo-lhes actuar em diversas áreas para além da concepção, produção e comercialização de moldes, como por exemplo nos componentes plásticos e sua montagem e decoração, nas máquinas de moldação, na produção de pequenas séries por tecnologias alternativas ou nas peças maquinadas de alta exactidão e precisão. Como consequência, muitas empresas têm vindo a integrar diferentes factores da cadeia de valor de produção de produtos e componentes.

A evolução tecnológica em curso em diferentes indústrias clientes do sector de moldes tem promovido a introdução de novos materiais e o aumento da complexidade funcional e de forma dos produtos finais. Os componentes envolvidos nesses produtos são cada vez mais sofisticados e com domínios de tolerância mais estreitos. Além disso, o período de tempo que medeia entre a concepção e a introdução dos produtos no consumidor tem sido drasticamente reduzido.

São actualmente referenciados como factores de competitividade fundamentais no sector de moldes a garantia da qualidade do componente final a produzir, os níveis de produtividade de excelência que permitam custos de produção reduzidos e a capacidade de desenvolvimento, fabrico e montagem em prazos cada vez mais reduzidos, num ambiente onde as alterações ditadas pelo desenvolvimento simultâneo do produto final são cada vez mais frequentes.

Esta envolvente possui implicações claras ao nível da exigência tecnológica colocada sobre a indústria de moldes, que se debate com a necessidade de produzir moldes cada vez mais complexos, mais fiáveis e, simultaneamente, em menos tempo e mais baratos.

## 2. Contexto e objectivos

O corrente estudo tem como objectivo identificar as necessidades e os desafios para o sector de Moldes e Ferramentas Especiais que têm impacto ao nível das tecnologias de produção, nomeadamente na disponibilidade e o domínio de capacidades tecnológicas avançadas e flexíveis e uma organização produtiva que privilegie uma elevada agilidade para o sector.

Neste estudo são evidenciadas de forma sintética, as áreas de inovação mais importantes para Indústria de *Engineering & Tooling* no contexto deste sector em Portugal e que são particularmente importantes para suportar a abordagem aos sectores definidos como estratégicos e prioritários para esta Indústria (Aeronáutica, Saúde, Energia e Embalagem).

A sua relevância deve ser entendida como necessária para promover a inovação tecnológica e para suportar os novos serviços de engenharia associados ao fornecimento de ferramentas e que permitirão o alargamento da intervenção do sector na cadeia de valor dos produtos finais.

Nesta abordagem serão referenciadas igualmente oportunidades que poderão advir destes desafios para este sector tendo em conta o seu know-how e capacidade tecnológica e facilidade de adaptação demonstrada que poderá potenciar novas áreas de mercado e capacidade competitiva.

A informação aqui apresentada é resultante dos resultados de projectos de investigação e desenvolvimento e de outras actividades (relatórios, estudos ou outros meios), realizados a nível nacional e internacional e da experiência adquirida pelo CENTIMFE em actividades de apoio à Indústria (consultadoria, reengenharia, disseminação, formação, ...) ao longo dos seus 20 anos de existência.

O CENTIMFE tem promovido ou participado activamente em projectos e actividades desta natureza, realizados a nível nacional e internacional, e tem também o indispensável conhecimento específico sobre a realidade do sector, tendo condições privilegiadas para o desenvolvimento e análise crítica da informação relevante para este estudo.

Com base no descrito anteriormente e na experiência adquirida identificaram-se as seguintes principais áreas de inovação prioritárias para o sector de *Engineering & Tooling* em Portugal:

- Desenvolvimento das tecnologias nucleares de fabrico
- Desenvolvimento dos processos não convencionais de fabrico
- Novos materiais e alteração das propriedades nas ferramentas

- Desenvolvimentos das ferramentas de apoio ao projecto e concepção
- Optimização dos sistemas produtivos
- Micro-ferramentas e Micro-produção
- Novos materiais e tecnologias para ferramentas de baixos volumes de produção
- Eficiência e Produção Magra (*Lean Manufacturing*)
- Processos de fabrico amigos do ambiente

### 3. Desenvolvimento das tecnologias nucleares de fabrico

Do ponto de vista tecnológico assistiu-se, nos últimos vinte anos, a um enérgico desenvolvimento das tecnologias ditas tradicionais e ao aparecimento de novas e/ou melhoradas tecnologias para o processamento dos diferentes materiais.

A gestão do tempo, das tecnologias e do conhecimento emergem como factores essenciais para a competitividade. Qualquer intervenção sobre estes aspectos dinâmicos, que determinam redução de prazos de entrega e melhoria da qualidade geral do que é produzido, transformam-se em vantagem competitiva.

#### 3.1. Maquinação a alta velocidade

A maquinação a alta velocidade é reconhecida como uma tecnologia com fortes vantagens na geração de superfícies complexas de elevada qualidade, permitindo responder de forma eficaz às crescentes pressões competitivas exercidas pelo mercado.

A maquinação a alta velocidade é caracterizada por efeitos como a diminuição das forças de corte, bem como das forças de reacção no componente maquinado, elevada taxa de remoção de material por unidade de potência, mínimo aumento da temperatura na ferramenta e na peça e uma tendência para o aumento da vida da ferramenta. Os custos de produção são reduzidos, quer pelas elevadas taxas de remoção de material, quer ainda pela excelente qualidade da superfície maquinada e pela grande precisão dimensional, sendo frequentemente possível eliminar as operações secundárias de acabamento.

Para velocidades de corte elevadas, são produzidas alterações no comportamento plástico dos materiais, isto é, a formação da apara produz-se após rotura frágil com a consequente formação de apara curta. A percentagem de calor que é evacuada pela

apara é superior ao verificado em maquinação a velocidades convencionais. Este facto resulta das maiores velocidades de avanço que não dão tempo ao calor se dissipar pelo material que está a ser maquinado.

Se os benefícios associados à maquinação a alta velocidade se encontram hoje demonstrados, a verdade é que face à evolução esperada na tecnologia, especialmente ao nível dos equipamentos e das ferramentas de corte, estima-se que nos próximos anos seja possível uma grande redução dos tempos de maquinação.

### 3.2. Maquinação a cinco eixos

Tradicionalmente, as máquinas de cinco eixos a alta velocidade têm sido usadas no processamento de componentes para a indústria aeronáutica. Contudo, os produtores de moldes têm mostrado um crescente interesse por esta tecnologia emergente que permite reduzir tempos efectivos de maquinação, reduzir o número de apertos e aumentar a qualidade das superfícies geradas.

A maquinação a alta velocidade com cinco eixos ao permitir trabalhar com comprimentos de ferramentas mais curtos o que conduz a uma maior rigidez dinâmica e, conseqüentemente, a uma maior estabilidade do processo de corte. É possível então utilizar parâmetros de corte de maior desempenho, com incrementos significativos da taxa de remoção de material e da área maquinada por unidade de tempo e, ainda mais importante, de maquinar superfícies não exequíveis numa máquina configurada com três eixos minimizando o número de apertos. Efectivamente, um outro benefício do recurso a máquinas de 5 eixos é a aptidão destas para a maquinação de várias superfícies num único aperto e a possibilidade de executar furações segundo um vector normal ou não à superfície de referência.

Em contraste com as soluções de cinco eixos contínuos utilizados pela indústria aeronáutica, uma solução bem adaptada à indústria de moldes é, atendendo ao estado da arte, 3 eixos lineares mais 2 rotativos de posicionamento. Os equipamentos com esta configuração, não continuamente controláveis nos cinco eixos em simultâneo, permitem, a um preço mais reduzido, algumas das vantagens da tecnologia de 5 eixos, como a redução do número de apertos, a redução do comprimento das ferramentas e a redução da utilização de outras tecnologias mais lentas e mais agressivas para os sistemas ecológicos, como por exemplo a electroerosão.

A complexidade que suporta a parametrização conjunta dos eixos lineares e rotativos representa ainda um grande desafio com vista à sincronização de todos os movimentos, precisão na execução das superfícies e previsão de colisões. Este tema continua a ser matéria de em desenvolvimento, especialmente no que respeita às estratégias de maquinação, sistemas CAM e pós-processamento dos programas de CN.

## 4. Desenvolvimento dos processos não convencionais de fabrico

### 4.1. Tecnologias Laser

O rápido avanço das tecnologias relacionadas com as energias de radiação, tem conduzido pela sua eficiência, precisão e flexibilidade, a variadas aplicações práticas na área da engenharia mecânica.

O princípio da remoção de material por laser resulta da acção do feixe de laser que é focado na superfície do material onde a energia é absorvida. Esta energia é convertida em calor. A máxima profundidade onde a absorção ocorre é chamada profundidade de penetração.

Os raios laser têm inúmeras vantagens como tecnologia de micro fabricação: alta flexibilidade, (p. ex., maquinação 3D, micro furação, corte fino, soldadura, gravação, tratamento térmico por indução laser); sem contacto físico entre a ferramenta e a peça (sem desgaste de ferramenta e carga sobre rolamentos); e a capacidade de processar uma grande variedade de materiais incluindo plásticos, metais, semicondutores, cerâmicos, e materiais que são difíceis de processar com técnicas convencionais, como diamante, o CBN e o vidro.

O crescimento da miniaturização no mundo da electrónica, fabricação de semicondutores e tecnologias para aplicações médicas, abriram oportunidades únicas para o uso das tecnologias que usam a radiação laser. Especialmente nas áreas em que o processamento dos materiais tradicionais encontra algumas limitações, lasers, com a sua excelente focagem e a pequena zona termicamente afectada resultante, encontram novas oportunidades de utilização. A grande flexibilidade e reprodutibilidade da tecnologia laser e a sua fácil automatização conferem-lhe uma especial aptidão para processar componentes para ferramentas de precisão e moldes para micro injeção. Menos usualmente, materiais como ouro, diamante, ou ligas de titânio podem ser processadas com alta qualidade. Esta vantagem é especialmente apreciada nas áreas da joalheria e da saúde.

Na vanguarda da tecnologia já se discutem detalhes com dimensões inferiores a 1µm. Contudo, até agora só um número muito limitado de empresas utiliza esta técnica, mas muitas mais precisarão no futuro destes detalhes de alta qualidade, e consequentemente os lasers serão certamente mais populares para aplicações industriais.



## 4.2. Prototipagem Rápida – PR

As Tecnologias de Prototipagem Rápida foram utilizadas nos primeiros anos da sua existência com o fim de produção de protótipos auxiliares no desenvolvimento dum novo produto antes da afectação de recursos financeiros elevados no fabrico das soluções tecnológicas para os fabricar. Estes protótipos servem para validação estética, numa perspectiva de mercado, e funcional dos produtos em fase de desenvolvimento permitindo reduzir o tempo de desenvolvimento dum produto e, portanto, o tempo para o mercado, factor dinâmico de extrema importância, e reduzir custos de produção de forma a ganhar vantagens competitivas.

Estas tecnologias são fundamentais para a entrada em novos mercados, alargando a oferta de produtos personalizados, promovendo uma maior exploração de opções de design e facilitando os ciclos de validação associados à criação de produtos inovadores.

No entanto estas tecnologias, para além do desenvolvimento de produto, permitem, em muitos casos, a produção de pequenas e médias séries de produtos finais. Deste modo, são possuidoras de capacidade para afectar outras áreas funcionais da empresa e não apenas as que dizem respeito ao projecto e desenvolvimento de produto. Esta é uma vertente destas tecnologias claramente inexplorada e que representa uma janela de oportunidade com grande potencial para este sector.

As principais tecnologias de prototipagem rápida disponíveis comercialmente são SL – Estereolitografia; FDM – Fused Deposition Modeling; SLS – Selective Laser Sintering.

Para além dos equipamentos industriais de PR existem também disponíveis no mercado os equipamentos de impressão tridimensional conhecidos por 3D Printers (impressoras 3D) e, por vezes, também denominados por office modelers e que são variantes de menor custo das tecnologias convencionais de PR podendo ser utilizados em ambiente de escritório.

A impressão 3D tem sido utilizada fundamentalmente para fabrico de modelos conceptuais do produto, posicionando-se como uma tecnologia auxiliar ao desenvolvimento de produto. Esta envolvente apresenta-se como uma excelente oportunidade para o crescimento das 3D Printers, possibilitando o fornecimento de modelos conceptuais de baixo custo num prazo muito curto, sem sair do ambiente do gabinete de design.

O fabrico de protótipos tecnológicos (e das ferramentas necessárias ao protótipo)

é um passo do desenvolvimento e da engenharia do produto, e é nesse contexto que deve ser entendido pelas empresas de ferramentas. Se, por um lado, o conhecimento em engenharia de ferramentas e processos tecnológicos é fundamental para soluções do produto robustas e económicas em termos de fabrico, por outro lado os fabricantes habituados a produzir ferramentas de acordo com especificação do cliente mais ou

menos detalhadas, têm uma falta de experiência significativa no processo de desenvolvimento de produto, em particular no que respeita a um entendimento profundo da definição de valor do cliente a às características menos estruturadas dos fluxos de trabalho.

Actualmente estão a surgir novas oportunidades de negócio no fabrico de protótipos, em particular na área de protótipos técnicos e funcionais. Convém referir que as competências necessárias ao fabrico de protótipos técnicos são significativamente diferentes das necessárias para os protótipos geométricos ou mesmo funcionais. De facto, o objectivo último de um protótipo técnico é a validação definitiva dos materiais e processos de produção do ponto de vista do produto. Assim, devem ser considerados materiais e processos de fabrico suficientemente “parecidos” com os da produção final. Geralmente o fabrico de protótipos técnicos envolve uma ferramenta simples, capaz de construir a forma geométrica, com um material e propriedades iguais à peça final. Para seguir uma especialização e uma estratégia baseadas no fabrico rápido de ferramentas apropriadas para os protótipos técnicos e mesmo para pequenas séries são necessárias abordagens diferentes ao negócio típico de fabrico de ferramentas. Em particular, como os princípios e objectivos de fabrico são diferentes, é recomendada uma demarcação do sistema produtivo tradicional de fabrico de ferramentas. A qualidade, tempo de produção e custo têm de ser avaliados no contexto da peça e não serem considerados em termos da ferramenta. O fabrico da ferramenta é um passo num processo estendido e maior, sendo que a criação de valor não está na ferramenta mas sim no protótipo fabricado. O objectivo valorizado é o de produzir protótipos técnicos, dentro de um custo específico, com objectivos temporais e de qualidade, e apenas “por acaso” a ferramenta é necessária. Devido à rápida evolução tecnológica e ao grande número de tecnologias dependentes de aplicações, esta aquisição de competências não é uma tarefa fácil e sem riscos exigindo a introdução de uma “cultura” de desenvolvimento de produto nas empresas de ferramentas.

### 4.3. Rapid Manufacturing

Existe um futuro de elevado potencial para o sector do Engineering & Tooling proveniente da Tecnologia de PR para além do domínio específico da geração de protótipos. A aplicação dos princípios tecnológicos da PR à área do fabrico apresenta-se como o campo de desenvolvimento mais significativa neste início de século, constituindo o que frequentemente se designa por Fabrico Rápido (Rapid Manufacturing - RM).

O conceito de RM define o fabrico de produtos finais aplicando as tecnologias de PR. Em última análise significa o recurso a processos aditivos de geração de formas livres, partindo de informação digital sob a forma de modelos CAD 3D e eliminando a

necessidade das ferramentas e dos moldes actualmente imprescindíveis nos processos de fabrico convencionais.

O consumidor procura cada vez mais produtos personalizados, menor número de peças, produtos mais complexos e produzidos em menor tempo. Este desafio poderá criar um grande mercado para o RM.

Com a exploração da potencialidade de aplicação da tecnologia PR para produção em série, surgem vários desafios, nomeadamente ao nível das propriedades dos materiais, precisão, acabamento superficial das peças e velocidade do fabrico. À medida que estes obstáculos são ultrapassados e são demonstrados industrialmente casos de sucesso, mais empresas perspectivam a tecnologia de PR como um método viável a introduzir nas suas cadeias de fabrico.

Existe uma grande quantidade de produtos com componentes funcionais onde o aspecto estético ou a qualidade superficial não são importantes. Em cada automóvel, avião ou aparelho electrónico, podem ser encontrados centenas destes componentes que não exigem elevada qualidade superficial. Se a estes aspectos adicionarmos o requisito de pequeno volume de produção, cada vez mais frequente nas economias desenvolvidas, percebe-se o mercado de grande potencial para o sucesso do RM para o sector.

#### **4.4. Rapid Tooling**

Os processos de Rapid Tooling são relativamente recentes. Alguns deles encontram-se ainda em fase de desenvolvimento e muitos ainda não atingiram o ponto de serem comercialmente viáveis (alguns provavelmente nunca o serão).

Existem actualmente duas categorias principais ao nível das técnicas de fabrico rápido de ferramentas. Uma designada por abordagem indirecta envolve a utilização das tecnologias de PR para o fabrico de masters que se apresentam como as formas negativas utilizadas para o fabrico das cavidades moldantes. Os moldes em silicone são exemplos da aplicação de processos indirectos. A segunda categoria designada por abordagem directa envolve a utilização da PR para a geração directa das cavidades moldantes ou insertos metálicos. Os processos DMLS – Direct Metal Laser Sintering da EOS, SLSm – Selective Laser Sintering da 3D Systems, ProMetal da Extrude Hone, e LENS da Optomec são exemplos de processos directos.

É previsível um grande crescimento do mercado para os novos processos de fabrico rápido de ferramentas (Rapid Tooling), quer na abordagem directa quer indirecta. À medida que os processos se forem aperfeiçoando e as empresas forem explorando novas formas de os utilizar, a confiança por parte dos potenciais utilizadores destas técnicas irá aumentar, abrindo as portas para um enorme potencial de aplicações. Contudo, não é de esperar, pelo menos no curto-médio prazo, a emergência de um

processo de RT com vantagens claras sobre os outros. Tal significa que tenderão a co-existir um conjunto alargado de processos com campos de aplicação mais ou menos específicos.

Para além da redução de tempo e custo, algumas técnicas de RT oferecem actualmente a possibilidade de utilização de refrigeração otimizada (Conformal Cooling), o que permite a obtenção de melhores propriedades térmicas nas ferramentas, propriedades estas que não podem ser obtidas com ferramentas maquinadas por processos convencionais.

Neste conceito de refrigeração otimizada os canais de refrigeração acompanham a forma do contorno das superfícies da bucha e da cavidade. Estes canais são construídos em simultâneo com a peça ou inserto metálico, selectivamente por camadas, não existindo restrições na sua forma ou complexidade geométrica.

A refrigeração otimizada permite que a evacuação de calor do molde ocorra mais rapidamente do que com a utilização dos canais rectilíneos típicos das ferramentas obtidas por maquinaria. Se a eficiência da refrigeração é melhorada, tal significa que o tempo do ciclo da injeção pode ser reduzido.

Alguns estudos indicam que a refrigeração otimizada pode reduzir o tempo de ciclo em cerca de 20 a 40%, melhorando simultaneamente a qualidade das peças injectadas. Estes factos são reflectidos no aumento das cadências de produção e na diminuição do custo de produção das peças finais.

A refrigeração otimizada (Conformal Cooling) por via das técnicas de RT está já a ser utilizada em ferramentas para produção de peças destinadas a grandes OEMs em diversos sectores (Automóvel, Aeronáutica, Electrónica, etc.) com claras vantagens económicas e de qualidade demonstradas sendo uma área tecnológica de elevada importância para o sector do Engineering & Tooling.

A redução dos ciclos de vida de produto e crescente micro-segmentação dos mercados abrem um conjunto vasto de oportunidades na área da prototipagem, fabrico de pequenas séries por tecnologias alternativas e fabrico rápido.

## 5. Novos materiais e alteração das propriedades nas ferramentas

Tradicionalmente as ferramentas têm sido construídas em aço e, para situações específicas, em alumínio.

Nos ultimas duas décadas assistiu-se à introdução de novos materiais que, com melhores propriedades, seja maior eficiência térmica e/ou melhores características mecânicas, por exemplo, são mais aptos à obtenção de determinados atributos exigíveis às partes activas e funcionais das ferramentas e peças. Ao mesmo tempo,

tem-se constatado também um grande desenvolvimento nas tecnologias que manipulam as superfícies, nomeadamente, os tratamentos térmicos e termo-químicos de superfície e os revestimentos nano-estruturados. Como resultado, melhoraram a resistência ao desgaste, a estabilidade química e as propriedades tribológicas das superfícies, aumentando a fiabilidade e a vida útil das ferramentas, componentes e produtos.

As exigências ao nível do desempenho das novas ferramentas (moldes) necessitam duma aproximação complementar sobre as novas soluções metalúrgicas que abram novas vias de concepção e fabricação de moldes para diferentes aplicações.

Isto coloca novos desafios aos fabricantes de moldes, que se vêem pressionados a encontrar soluções para aumentar a resistência e durabilidade dos mesmos. Simultaneamente, coloca-se a necessidade de reduzir os tempos e os custos de produção dos moldes, com níveis de exigência para a qualidade final dos produtos cada vez mais elevados.

As ferramentas para volumes de produção pequenos ou extremamente elevados e para micro-produção necessitam de desenvolvimentos no campo dos materiais. Como exemplos podem referir-se: novos materiais no campo da pulverometalurgia, dos materiais cerâmicos, das resinas de baixo custo, e mesmo no campo dos materiais inteligentes e das superfícies micro/nano-estruturadas para ferramentas que permitam atingir as propriedades desejadas nas superfícies de trabalho (activação de propriedades específicas localizadas como a qualidade superficial, propriedades térmicas, lubrificantes e de resistência ao desgaste, ao impacto e a corrosão).

Para a utilização industrial destes materiais/superfícies a necessário não só dominar o seu processamento como também garantir o desempenho da sua utilização em condições de serviço. Como tal, o conhecimento das interacções entre as propriedades desejadas e a estrutura do material requer pesquisa aplicada.

A evolução permanente nas características mecânicas e metalúrgicas dos materiais e a evolução ao nível da engenharia das superfícies tem permitindo melhorar o comportamento em serviço de moldes em materiais facilmente maquináveis e com elevada condutibilidade térmica e aumentar a durabilidade dos mesmos.

Todos estes aspectos colocam a indústria de moldes perante uma envolvente que lhes exige um grande domínio sobre a engenharia dos materiais não apenas no que respeita aos materiais construtivos dos moldes mas também dos materiais envolvidos nos produtos finais e, mais ainda, sobre a influência que estes últimos determinam nas características de desempenho dos primeiros. As exigências ao nível do desempenho das novas ferramentas (moldes) necessitam duma aproximação complementar sobre as novas soluções metalúrgicas que abram novas vias de concepção e fabricação de moldes para diferentes aplicações. Neste domínio merecem particular referência o desenvolvimento de novas ligas metálicas, ferrosas e não-ferrosas, e a grande evolução

actualmente em curso ao nível da engenharia das superfícies, num contexto de tratamentos superficiais e, especialmente, num contexto de novos revestimentos.

### 5.1. Desenvolvimentos e inovações

Um dos mais importantes avanços na ciência e engenharia dos materiais tem sido o desenvolvimento de materiais com características dimensionadas para aplicações específicas. Estes novos materiais desempenham um papel determinante na competitividade da indústria e constituem uma resposta às exigências colocadas no sentido de um aumento da fiabilidade e do desempenho. O objectivo é utilizar o melhor material para desempenhar com maior eficiência uma determinada função, numa perspectiva económica e tecnológica.

Ao nível dos materiais poliméricos, registou-se a introdução de novos polímeros de engenharia para aplicações específicas, com impactos determinantes no valor da oferta do sector. Em particular, a crescente utilização de materiais plásticos em aplicações cada vez mais técnicas, exige o desenvolvimento de novos materiais tanto ao nível das matérias-primas plásticas, como ao nível dos materiais usados no fabrico dos moldes.

Verifica-se uma crescente utilização de materiais plásticos e compósitos em aplicações estruturais, em que os sectores automóvel e aeronáutica são bons exemplos. A tendência para a utilização crescente das “ligas de alumínio de nova geração”.

No entanto, é necessário ter consciência que a força motriz por detrás destes desenvolvimentos são as indústrias utilizadoras como indústria aeronáutica, automóvel, entre outras. As necessidades específicas da indústria de moldes só poderão ser garantidas se existir uma pressão conjunta sobre as metalúrgicas e instituições de I&D, por parte deste sector empresarial, sob o risco de se estarem a desperdiçar importantes mais valias a incorporar nos processos produtivos dos mais variados sectores industriais utilizadores de moldes e ferramentas.

A evolução da ciência e engenharia de materiais permite melhorar a competitividade das indústrias melhorando a qualidade e o desempenho ou baixando o custo dos produtos produzidos. Os materiais são um dos intervenientes no ciclo produtivo e as propriedades que eles incorporam nos produtos finais são, quase sempre, cruciais para o sucesso comercial destes.

O objectivo é um domínio eficaz do comportamento desses materiais inovadores de forma a garantir a robustez dos processos de fabrico inerentes e facilitar a sua transferência e disseminação no mundo industrial. Para além disto os desenvolvimentos ao nível dos novos e/ou melhorados materiais (e.g. materiais compósitos ) poderão estimular a inovação e o surgimento de novas áreas de mercado e novas aplicações com elevado interesse.

## 6. Desenvolvimentos das ferramentas de apoio ao projecto e concepção

O conjunto das tecnologias assistidas por computador (CAD, CAM, CAE, CAPP, etc.) experimentou uma enorme evolução nos últimos anos. A aplicação destas ferramentas ao fabrico e desenho dum produto tem sido feita dum modo rentável. No entanto, e numa perspectiva global, ainda é insuficiente a utilização integrada destas técnicas.

### 6.1. CAD/CAM

O desenho ou modelo elaborado nos sistemas de CAD é, regra geral, o ponto de partida para a aplicação das restantes tecnologias assistidas por computador. A qualidade dos modelos CAD condiciona a qualidade dos resultados que podem ser obtidos com as ferramentas de CAE e CAM.

Os sistemas de CAD (computer aided design) envolvem o uso de ferramentas informáticas na criação de desenho mecânico e modelação geométrica de produtos e componentes. Os principais desenvolvimentos que dizem respeito à indústria de moldes verificaram-se ao nível dos sistemas de modelação híbridas, sólidos e superfícies, das bases de dados de desenho e fabricação e da programação de geometrias 2D e 3D.

A modelação 3D de sólidos permite definir integralmente qualquer objecto num computador. Permite realizar secções de qualquer tipo, montagem de peças em conjunto para análise de interferência, movimentos, representação explosiva para esquemas de montagem, etc., assim como a obtenção de volume, centros de gravidade, momentos de inércia, etc.

Caminha-se para a integração total entre a área de projecto e desenvolvimento de produto e a fabricação. Isto só é possível, se a programação destes processos for baseada em determinadas características das entidades geométricas que permitam a geração automática de programas CNC. Para isso, é necessário aceder a sequências de maquinação definidas previamente e arquivadas dum modo centralizado, baseadas em bases de dados de conhecimento relativas a materiais e respectiva maquinabilidade, ferramentas de corte e tecnologia associada (parâmetros característicos e estratégias).

É impossível automatizar a produção sem uma base de dados disponível nos sistema de CAD/CAM com a duração de vida das ferramentas associada ao material a maquinar, aos parâmetros de corte, ao tipo de operação e às condições operativas. A identificação de determinados atributos das entidades geométricas e a criação de base de dados de associação entre ferramentas é, também, fundamental para concretizar o objectivo da total integração entre projecto e fabricação.

Paralelamente, é necessário que ao nível do projecto sejam correctamente definidas as tolerâncias função dos ajuste dos diferentes elementos, de modo a eliminar o trabalho suplementar de bancada, muito característico deste sector.

A fronteira entre as ferramentas de *CAD* e o *CAM* tende a diluir-se com o tempo, com a introdução de novas funcionalidades ao nível dos softwares e com a criação de bases de dados de conhecimento relativas aos processos de fabrico e desenho. Esta possibilidade de reconhecimento automático das geometrias geradas em programas *CAD* pelos programas *CAM* e as bases de dados, permitem a redução dos tempos para a elaboração de programas *CNC*, a diminuição da introdução de erros e o incremento da produtividade ao nível dos processos.

Assim, a possibilidade de exportar determinadas características das entidades geométricas dos ficheiros *CAD*, permite que a geração dos programas *NC* seja realizada de modo automático e que as barreiras ainda existentes entre o projecto e a fabricação sejam cada vez mais fluidas.

## 6.2. CAE

Durante o ciclo de desenvolvimento de um produto são utilizados, com frequência, métodos de tentativa erro com o objectivo de validar um desenho. Nesta fase de desenvolvimento é muito importante o custo das operações intervenientes: construção de protótipos, realização de testes, análises funcionais etc.

Os sistemas de engenharia assistidos por computador são ferramentas que utilizam tecnologias de modelação e análise de elementos finitos.

Estes sistemas permitem a simulação do comportamento dum peça, mecanismo ou produto, perante um fenómeno determinado, sem necessidade de dispor da sua realização física.

A simulação do processo de moldação por injeção de matérias poliméricas, é uma ferramenta de grande importância nas várias fases de desenvolvimento e fabrico dum peça de plástico sendo o seu campo de aplicação muito amplo.

Através da simulação poderão ser detectados problemas de transformação, como deformações, contracções indesejadas, etc.

Durante o projecto do molde permite determinar os pontos de injeção, determinar os circuitos de refrigeração, escapes de gases, etc., e na fase de transformação das matérias plásticas, simula o processo, determina tempos de injeção, pressões e temperaturas, etc., permitindo otimizar o ciclo e as condições de injeção.

Sendo certo que existem divergências entre os resultados obtidos e a realidade, também é verdade que, no domínio das peças plásticas, o seu comportamento perante um fenómeno físico determinado dum protótipo e o da peça injectada pode ser bastante diferente. O sistema de CAE possibilita a avaliação de um número mais amplo de



alternativas, tanto em relação aos materiais como a possíveis configurações e desenhos do produto em desenvolvimento.

De facto, a simulação permite filtrar opções, com um rápido acesso a soluções optimizadas, diminuindo a possibilidade de existência de erros em fases mais avançadas. Deste modo, a utilização destas ferramentas é indispensável numa perspectiva de produção mais eficiente e redução de custos associados às diferentes fases de desenvolvimento e fabricação duma peça polimérica.

A utilização de novos materiais no fabrico de ferramentas irá passar a curto-médio prazo pelos moldes híbridos. As empresas que desenvolvem e comercializam ferramentas de Engenharia Assistida por Computador (CAE) têm feito investimentos avultados de em módulos de simulação para moldes deste tipo, de forma a permitir uma melhor incorporação de todas as potencialidades para este tipo de moldes. Isto representa uma oportunidade para o sector evoluir na cadeia de valor e produzir este tipo de moldes com bases sólidas e fiáveis de simulação antes da produção dos moldes.

## **7. Optimização dos sistemas produtivos**

### **7.1. Células de fabrico flexível**

O desenvolvimento que se tem verificado nos últimos anos, tem-nos frequentemente confrontado com referências à fábrica do futuro, ou seja, uma fábrica totalmente automática, com capacidade de produzir dum modo flexível uma grande variedade de produtos sem intervenção humana. Este conceito em si mesmo, vai para além da mera substituição de recursos humanos por processos automatizados. As pessoas são um elemento relevante em todo o sistema, tendo um papel de destaque na utilização correcta da tecnologia existente, no processo de inovação e no desenvolvimento das próprias tecnologias.

A produção integrada por computador, não é mais do que a denominação para a integração global, através de sistemas informáticos, de funções como a concepção de produtos e engenharia, o planeamento do processo e a fabricação.

No que se refere à aplicação das TIC na produção, a instalação nos países mais desenvolvidos de células e sistemas flexíveis de fabricação e controlo de qualidade, prescinde quase totalmente das funções de controlo humano directo, as quais são efectuadas por sistemas automáticos e redes de distribuição de informação.

Um sistema flexível, em princípio de construção modularizada, poderá ter como embrião uma célula flexível geralmente constituída por uma unidade robótica, várias máquinas CNC e uma de controlo tridimensional.

A configuração do sistema de controlo destes meios de produção varia de caso para caso, mas de um modo geral, podemos considerar três níveis. O primeiro diz respeito ao meios de comando locais, como os comandos numéricos das máquinas CNC, os autómatos programáveis que comandam os mecanismos de carga e descarga de paletes, peças, eléctrodos e ferramentas, os sistemas informáticos que comandam as máquinas que inspeccionam as peças e medem as ferramentas. O segundo nível constituirá o centro de controlo dos elementos do primeiro nível, nomeadamente no que se refere ao controlo de circulação de peças, eléctrodos e ferramentas e da distribuição de toda a informação para as diferentes máquinas. Por último, o terceiro nível terá como suporte um computador para as tarefas de planeamento e, eventualmente, servindo de base aos sistemas de CAD/CAM.

Nas empresas modernas toda a informação está integrada e disponível em qualquer posto de trabalho, no entanto, avançou-se mais no conceito CIM (produção integrada por computador) do que no FMS (sistemas flexíveis de produção). Estes estão muito mais condicionados por problemas de ordem tecnológica (mecânica) muito menos fiáveis. Basta referir a estrutura heterogénea e anisotropa dos materiais para se perceber que os resultados das operações de processamento não são tão previsíveis como o exigido para controlo automático.

A produção integrada por computador, não é mais do que a denominação para a integração global, através de sistemas informáticos, de funções como a concepção de produtos e engenharia, o planeamento do processo e a fabricação sendo uma área de inovação fundamental para a organização produtiva neste sector.

## 7.2. Tecnologia Multifunções

O potencial de desenvolvimento do processo de corte por arranque e das tecnologias que lhes estão associadas continua a ser enorme. Prevê-se uma continuada substituição de outros processos tecnológicos de corte, como a electroerosão e a rectificação, por este em que as vantagens são de ordem tecnológica, económica e ecológica. O problema não está tanto nas tecnologias de base, mas no seu grau de integração e no controlo do processo através da monitorização dos equipamentos e das ferramentas.

Os equipamentos que hoje utilizamos começam a ficar obsoletos e no futuro vamos deixar de controlar exclusivamente os movimentos das máquinas mas sim a sua dinâmica e o próprio processo de corte.

Apesar das sequências operacionais actuais ou gamas de fabrico preverem a utilização de meios computadorizados de fabricação (máquinas CNC, algumas com comutação

automática de mesa e de ferramentas) para a execução das diferentes fases de fabrico destes componentes e em três turnos, são utilizados sete ou oito postos de trabalho diferentes com recursos humanos dedicados e com tempos de preparação relativamente elevados.

O processo é longo, com tempos de preparação e de espera significativos e com um número elevado de recursos humanos afectos.

Assim, e para combater a concorrência de países com mão de obra barata é inevitável a utilização de meios de produção com tecnologias integradas, bastante mais flexíveis e rígidos que as soluções actualmente utilizadas e que permitam a execução automática e sequencial das diferentes fases de fabrico e com a comutação de peças feita por meios robotizados.

O desenvolvimento das empresas depende cada vez mais de um processo cumulativo de incorporação de novas tecnologias e de conhecimento.

A maior complexidade das tecnologias e dos equipamentos, a maior sensibilidade a uma correcta selecção de variáveis (que possuem domínios mais estreitos) face a tecnologias convencionais, determina um aumento da importância do conhecimento, e como tal das pessoas, num sector já de si considerado de conhecimento intensivo.

Surgiram recentemente no mercado, máquinas multifunções, que integram centros de torneamento e centros de fresagem que permitem, sem necessidade de intervenção do operador, a maquinação completa numa só máquina, com redução significativa, no tempo total de maquinação.

Estas novas tecnologias multifunções possuem funcionalidades que permitem movimentar a peça de forma sincronizada em várias posições, permitindo assim executar diferentes operações de maquinação em vários lados do molde ou peça sem interrupções, sem intervenção do operador e sem qualquer paragem.

Como os ciclos de trabalho passam a ser maiores, um operador pode trabalhar com duas ou mais máquinas sem interrupções.

Os equipamentos multifunções, com uma configuração de sete e/ou nove graus de liberdade, sendo uns rotativos e outros lineares, e com instrumentação e robotização adequada, permitem executar dum modo sequencial e automático as várias operações (torneamento, fresagem, roscagem, furação, mandrilagem, rectificação, abertura de engrenagens, corte excêntrico, etc.) que nas condições actuais são executadas em máquinas diferentes cada uma das quais com um operador dedicado. O número de fases de fabrico ou a sequência operacional é drasticamente reduzida e permite um aumento da complexidade daquilo que se pode produzir.

## 8. Automatização e Controlo da Produção

A implementação de inovadoras tecnologias de produção e a crescente automatização de processos e operações, visa por um lado o aumento da capacidade produtiva sustentada capacidade de desenvolvimento de conhecimento nos próprios processos produtivos, baseia-se não só na capacidade tecnológica instalada mas também no aumento do domínio tecnológico, ao qual está associada uma eficaz gestão do conhecimento da empresa.

A automatização e integração de processos no fabrico de moldes pode ser feita com recurso paletização, sistemas de troca automática de ferramentas e eléctrodos, sistemas de centragem dos moldes com sistemas de contacto por infra vermelhos, calibradores laser das ferramentas com registo automático dos “offsets no menu” das ferramentas e utilização de softwares que permitam integração de funções.

Outras abordagens de automatização incluem a instalação de robots gantry adaptados aos equipamentos produtivos já existentes, isto exige também a preparação dos programas relativos às trajectórias a executar neste posto de trabalho pelo robot gantry.

Sistemas de Automático de centramento de Moldes que, através de emissão de infra vermelhos, interface ao controlador da máquina e software específico para controlo de medida, permite a referenciação automática das peças em cima da mesa da máquina mesmo que a sua colocação tenha sido feita duma maneira aleatória. Isto é possível através da de funcionalidade do controlador que permite a rotação do sistema de eixos.

Sistemas de paletização automática com várias paletes, para adaptação ao centro de maquinação. São mesas de trabalho com um conjunto de referências previamente definidas nos três eixos, X, Y e Z, que possibilitam a comutação automática, através de robótica associada, com a mesa que se encontra na máquina. Estas soluções dispensam a referenciação dos eléctrodos ou peças e eliminam os tempos de preparação de máquina, que muitas vezes chegam a representar 40% dos tempos de produção.

### 8.1. Sistemas de gestão de ferramentas

De uma forma progressiva cada vez mais ao fornecimento de uma ferramenta esta associada uma garantia. A abordagem industrial corrente a baseada em princípios tácitos de sobre-dimensionamento que suportam a segurança do fabricante com custos acrescidos sem a correspondente percepção do valor pelo cliente. Surgem como necessárias a geração de conhecimento envolvendo a fiabilidade das ferramentas e a sua materialização em modelos de fiabilidade em regras de projecto.

Uma área de inovação importante neste sector reside no desenvolvimento de modelos de fiabilidade para as ferramentas e a avaliação e gestão das ferramentas no seu ciclo de vida.

Os sistemas de gestão da fiabilidade das ferramentas requerem o retorno automático de informação sobre o desempenho as ferramentas durante a sua fase de utilização para os gabinetes onde foram desenvolvidas e projectadas, de forma a continuamente avaliar resultados e melhorar a fiabilidade das soluções de engenharia implementadas.

São necessárias tecnologias, métodos e algoritmos para a monitorização e avaliação do estado de condição das ferramentas, para a recolha de dados e data mining, para o reconhecimento de padrões e para a tomada de decisão, de forma a permitir melhorias fundamentais nível da estabilidade do processo, envolvendo o controlo da fiabilidade da ferramenta e da qualidade dos produtos fabricados.

## **8.2. Mock-ups, digitais e baseados em conhecimento, de ferramentas**

O desenvolvimento de sistemas integrados concebidos para permitirem a o fabrico e a industrialização virtual (design e fabrico de ferramentas, processos de fabrico das pecas finais, interfaces máquina, sistemas de automação, etc) contribui para um lançamento em produção pro-activo e bem à primeira". Esse desenvolvimento exige a combinação de diferentes áreas científicas e tecnológicas, em particular:

(1) Sistemas de fabrico virtuais e inteligentes - desenvolvimento de sistemas integrando concepção e planeamento do processo e da produção, envolvendo todas as vertentes de desenho, simulação e análise, de programação para fabrico e de simulação do processo, num ambiente virtual. Note-se que a capacidade de simular e analisar os processos de fabrico para alem de considerar os processos envolvidos no fabrico de ferramentas deve focar se nas tecnologias utilizadoras dessas ferramentas e suportar, não apenas o lançamento virtual da produção, como também a industrialização do processo de fabrico de pecas finais, numa perspectiva de garantia da qualidade e de compressão do tempo para mercado.

(2) Sistemas de engenharia baseada no conhecimento para projecto, teste e ensaio de ferramentas - desenvolvimento de sistemas com capacidade de gerar soluções de engenharia e que suportem a aprendizagem capturando conhecimento com base na experiencia.

O fabrico de ferramentas a fortemente dependente do conhecimento tácito. A unicidade de soluções de engenharia e a produção unitária tem dificultado a explicitação estruturada desse conhecimento. Efectivas aplicações de engenharia baseada no conhecimento para o sector são inexistentes ou profundamente imaturas.

## 9. Micro-ferramentas e Micro-produção

Várias áreas de negócio estão a emergir rapidamente e, como estão numa fase inicial de desenvolvimento no mercado, são mais fáceis de penetrar com ferramentas especializadas e inovadoras. Micro-sistemas, micro-ferramentas e micro-fresagem são áreas em inovação para a produção em massa de peças miniaturizadas.

A procura de micro-peças esta em forte crescimento. Para a sua produção são necessárias micro-ferramentas e uma melhor compreensão das tecnologias de processamento de materiais a micro-escala, desde as tecnologias nucleares de fabrico, como a micro-maquinagem, as tecnologias de suporte como a metrologia ou o micro manuseamento e posicionamento.

Como em qualquer campo em forte desenvolvimento, dele resultam novas oportunidades para os fabricantes de ferramentas que procuram diferenciar-se, gerar mais negócio e estar melhor posicionados contra competidores de baixo custo.

Num contexto relevante para a indústria de moldes, o termo micro fabricação refere a geração de componentes tridimensionais (3D) de alta precisão utilizando uma variedade de materiais e processos na fabricação de componentes com dimensões de algumas dezenas de micrómetros até alguns milímetros.

Com tolerâncias ao nível dos micrómetros e detalhes nas ferramentas impossíveis de ver a olho nu, esta área emergente e de rápido crescimento apresenta numerosos desafios para os fabricantes e vendedores de ferramentas.

A crescente miniaturização dos produtos electrónicos e a sua inclusão em outros sectores abre espaço para a inovação e para a captação de novas oportunidades de mercado com soluções integradas.

Enquanto as micro tecnologias tradicionais estavam bem adaptadas ao fabrico de semicondutores e ao campo da micro electrónica, o mesmo não pode ser dito na fabricação de componentes que envolvem geometrias 3D de alta precisão em materiais diferentes do silício.

Ao mesmo tempo, a tendência nos produtos industriais que exigem miniaturização, flexibilidade, reduzido consumo de energia e a alta precisão, continua crescendo – especialmente na medicina, biotecnologia, telecomunicações e na área da energia.

No actual contexto, onde a inovação é o factor crítico para o crescimento económico e o desenvolvimento social, o aumento da competitividade e da produtividade está, em parte, dependente da construção de competências próprias ao nível dos micro-moldes. A capacidade para incrementar o desempenho duma empresa está intimamente relacionada com a detenção individual e colectiva do conhecimento e da incorporação dessa componente imaterial no trabalho produzido. Isto resulta da

maior ou menor preparação científico-tecnológica dos diferentes protagonistas (ao nível do projecto, concepção e fabrico dum micro molde).

Os processos associados à concepção e produção de micro componentes e micro moldes, assim como as subseqüentes operações de montagem, embalagem e controlo exigem um domínio integral das respectivas soluções tecnológicas.

O projecto e a produção de micro-peças requerem:

- (1) novas regras de projecto para o desenvolvimento de micro-produtos - DfM/DfA;
- (2) desenvolvimento de conhecimento ao nível do projecto de micro-ferramentas;
- (3) desenvolvimento de conhecimento ao nível das tecnologias de micro-produção - maquinaria, moldação por injeção, enformação, etc., e engenharia de superfícies;
- (4) desenvolvimento de novos algoritmos de modelação e simulação do processo;
- (5) desenvolvimento de novas técnicas para inspecção e de controlo do processo adaptadas a micro-dimensões;
- (6) desenvolvimento de novas soluções para manuseamento de materiais, montagem e embalagem adaptadas a micro-componentes.

Os processos de fabricação são avaliados e seleccionados para aplicações específicas, baseadas no tipo e quantidade de energia consumida, no mecanismo relativo ao processo, na sua capacidade (incluindo precisão e repetibilidade), efeitos ambientais e aspectos económicos.

Os micro-moldes metálicos são utilizados em moldação por micro injeção ou micro estampagem a quente para produção em massa. Graças à combinação das técnicas foto litografia e de electrodeposição, é possível realizar cavidades com formas extremamente complexas.

É necessária investigação aplicada, quer ao nível experimental quer ao nível da modelação e da simulação, no domínio da metrologia para micro-pecas; micro-fresagem; maquinaria laser; micro-injecção; micro-enformação; engenharia de micro-superfícies; micro-EDM... Além disso, o conhecimento da física dos micro-processos tem de ser profundamente alargado (frequentemente os fenómenos relevantes são significativamente diferentes), de forma a suportar a fiabilidade e robustez no planeamento e no controlo dos processos.

Novos materiais e engenharia de ferramentas, revestimentos especiais e os próprios algoritmos presentes em softwares CAD/CAM têm de ser reavaliados e modificados (a

micro-fresagem requer estratégias especiais de maquinaria que vão para além do simples redimensionamento, o ambiente da máquina tem de estar em condições controladas, (a compensação por software pode não ser suficiente) e livre de vibrações). Outras áreas estão relacionadas com a alta precisão associada a produtos ópticos, a produção em ciclos extra-rápidos, a montagem de componentes durante a produção.

A inovação nos produtos e processos relacionados com a micro fabricação permitirá o alargamento da cota de mercado interno e a penetração em mercados externos. O impacto das actividades inovadoras nos factores de produção, geradas no interior das empresas, potenciará uma dinâmica de I&DT irreversível.

## **10. Novos materiais e tecnologias para ferramentas de baixos volumes de produção**

A redução de ciclo de vida e a grande variedade de produtos personalizados, junto com a tendência crescente para recorrer ao outsourcing de algumas tarefas de desenvolvimento de produto têm determinado uma procura crescente de capacidades de fabrico de protótipos técnicos/funcionais e de pequenas séries de produtos. De facto, a indústria de ferramentas está a ser pressionada para desenvolver competências em prototipagem e cada vez mais os produtos finais são produzidos em pequenas quantidades.

Se algumas barreiras forem ultrapassadas, podem estabelecer-se neste campo parcerias de longo prazo e com benefícios para os fabricantes de ferramentas e para os seus clientes com uma estratégia especialmente baseada na inovação de produtos. Por um lado os fabricantes de ferramentas ascendem a uma posição de maior valor acrescentado na cadeia global de fornecimento. Por outro lado o conhecimento tecnológico do processo, presente nos fabricantes, é incorporado numa fase mais inicial no design do produto, conduzindo à introdução de melhorias na robustez do fabrico e eficiência de custo. No entanto, a capacidade dos fabricantes de ferramentas em responder a estas novas necessidades de mercado requer uma nova atitude de negócio e comportamento corporativo, o que tem fortes implicações nos domínios da estratégia organizacional e tecnológica.

Devido a razões económicas, os pequenos volumes de produção inibem a utilização de ferramentas nas cadeias de fabrico, limitando a liberdade de ("ferramenta descartável") requer o desenvolvimento de soluções envolvendo novas abordagens integradas (negocio/ engenharia/tecnologia/materiais) com vista aos reduzidos ciclos de vida.

Em particular, são necessárias novas tecnologias de fabrico e materiais de baixo custo para permitir a viabilidade económica e a penetração competitiva das ferramentas neste



nicho de mercado em crescimento. A reciclagem e a reutilização dos materiais e componentes das ferramentas são também aspectos que podem contribuir para essa penetração, sendo necessárias soluções, quer na avaliação de vida remanescente, quer ao nível de abordagens do negócio da reutilização.

Recorrendo a tecnologias de prototipagem, algumas soluções tem sido desenvolvidas e ensaiadas para o fabrico de ferramentas de baixos volumes de produção, integrando o normalmente designado por Ferramentas Rápidas (construir uma ferramenta rapidamente a um custo conveniente capaz de fabricar protótipos). Contudo, tais soluções, desenvolvidas para prototipagem, não cumprem o objectivo fulcral dos pequenos volumes de produção-- construir uma ferramenta de baixo custo num horizonte temporal conveniente (com características tecnológicas e, especialmente, robustez desenhadas para uma vida especificada mas reduzida).

Note-se que, aparentemente semelhantes, ferramentas para pequenas séries e ferramentas para protótipos (chamadas de ferramentas de prototipagem) são bastante diferentes no que se refere aos atributos competitivo fundamentais e, como consequência, no que se refere às estratégias tecnológicas e de mercado. Com efeito, o atributo principal de uma ferramenta de prototipagem é o seu tempo de produção, uma vez que o imediato acesso aos protótipos é o grande objectivo pretendido durante o desenvolvimento de produto, com vista a um reduzido tempo para mercado. A empresa que desenvolve o produto necessita essencialmente de uma “ferramenta rápida a um custo compatível”. Por outro lado, o principal atributo de uma ferramenta para baixos volumes de produção é o custo, visto ser difícil distribuir o investimento na ferramenta por um reduzido número de produtos finais. A necessidade é neste caso, de “uma ferramenta de baixo custo num espaço de tempo compatível”.

Significativos desenvolvimentos tem ocorrido quer ao nível dos processos de produção para pequenas séries, como a injeção de baixa pressão RIM (Reactive Injection Moulding), RTM (Resin Transfer Moulding) e SMC (Sheet Moulding Compound), quer ao nível dos materiais para o fabrico de moldes (ligas de alumínio, poliuretanos, resinas monolíticas, etc.) assim como a propriedades dos materiais que compõem as peças produzidas.

Prospectivamente a penetração destes processos e materiais no fabrico de moldes para pequenas séries possui um elevado potencial de crescimento. Em última análise a principal barreira a esse crescimento têm sido os próprios actores na cadeia de fornecimento do molde que conservam algum proteccionismo relativamente à utilização deste tipo de moldes.

## 11. Processos de fabrico amigos do ambiente

A sustentabilidade ambiental tem adquirido uma influência directa na economia e a sua incidência tem sido sentida de uma forma especial nos processos industriais. As novas estratégias ambientais integradas envolvem a análise dos sistemas produtivos e a avaliação sistemática dos fluxos de energia e de materiais para a identificação das fontes poluidoras e das suas causas, e a actuação com vista a eliminação dessas fontes e do sobre-consumo de recursos. Processos de fabrico alternativos devem ser estudados, desenvolvidos e otimizados para aplicações específicas de forma a eliminar problemas ambientais (como exemplo fundição rápida ou fundição de precisão em vez de maquinagem; fresagem em vez de EDM).

Neste contexto, devem ser desenvolvidas e melhoradas tecnologias que de uma forma económica e competitiva permitam directamente obter os componentes nobres das ferramentas (cavidades e buchas; punções e matrizes) nas formas finais ou quase finais.

Exemplos destes desenvolvimentos incluem, por exemplo, a optimização da maquinaria pelo processo de fresagem a alta velocidade a cinco eixos e a sua capacidade de maquinaria de peças endurecidas e a seco (sem utilização ou utilizando a mínima quantidade de fluidos de corte). A maquinaria com utilização de ar comprimido e a utilização de quantidade mínima de fluido como refrigerante, são soluções que permitem a reengenharia dos processos. Esta solução elimina algumas etapas de desbaste e semi-desbaste antes do tratamento de térmico de endurecimento presentes no processo convencional, reduzindo o número de setup no fabrico das peças e são soluções amigas do ambiente, pela redução da utilização de emulsões e do consumo de água e fluidos específicos para refrigeração.

Ao nível do consumo de água e emulsões os sistemas de circulação dos fluidos pelo interior da ferramenta permitem maior eficiência do processo de remoção de partículas e de refrigeração da zona de corte e das ferramentas, utilizando menores caudais de fluido, o que permite menor evaporação e menor emissão de partículas para o ar. Os equipamentos de electroerosão por fio e penetração funcionam com o tanque cheio, isto é, as peças são processadas imersas no fluido dieléctrico. Com esta solução os gases libertados durante a descarga eléctrica e fusão do material ficam no seio do fluido, evitando a sua libertação para a atmosfera.

Estas soluções vão de encontro às iniciativas e políticas de redução do impacto ambiental do sector industrial pela redução do consumo de emulsões

Para além disto é importante que para as tecnologias mais relevantes sejam recolhidos dados e desenvolvidos algoritmos de utilização industrial para a avaliação do seu impacto ambiental.

## 12. Bibliografia

1. M. Correia, J.J. Pamies-Teixeira, P. Custódio, A. Selada O Processo de Maquinação de Alta Velocidade: Novos Desafios à Investigação, revista nº67 de “O Molde”, de Setembro de 2005
2. A. Selada, Salvado Henriques, Domingos Granja, Manual do Projectista- Materiais para Moldes e Técnicas de Fabrico ISBN I 972-98872-1-7 de Julho de 2003
3. R. Soares, Victor M. Saraiva, Manual do Projectista- Técnicas não Convencionais ISBN I 972-98872-1-7 de Julho de 2003
4. Steen, W., Laser Material Processing, 2ª edição, Springer
5. Jackson, M.; Micro and Nanomanufacturing, p.p. 399, Springer, 2006
6. M. J. Madou, “Fundamentals of Microfabrication”, 2nd ed. (Boca Raton, FL: CRC, 2002)
7. Lasertech GMBH, Release: 2420134\_LaserSoft3D\_99802-04\_GB.pdf
8. Kalpakjian, S., Manufacturing Engineering and Technology, Fourth Edition Prentice Hall,759,
9. Rees, A., Dimov, S.S., Ivanov, A., Herrero, Uriarte,U. G., Micro EDM: accuracy of on-the-machine dressed electrodes, 4M 2006, Second International Conference on Multi-Material Micro Manufacture – Proceedings
10. Tratamentos Superficiais por laser de aços para ferramentas, Adilson Rodrigues da Costa
11. D.G Teer, J. Hampshire, V. Fox, V. Bellido, Surf. Coat. Technol. 94/95 (1997) 267.
12. Hovsepian Peh, Lewis DB, Munz W-D, Lyon SB, Tomlinson M. Surf Coat Techn. 1999; 116-119:727
13. António Selada, Células de Fabricação Flexível – FMC, revista n.º 71“ O Molde”, 2006

14. Terry Wohlers and Todd Grimm, “Rapid Production: Key Barriers to Growth”, Time-Compression Technologies, Apr 2001
15. Elsa Henriques, “Novos Modelos de Negócio para a Indústria de Ferramentas”, Outubro de 2008
- 16 António Selada, António Baptista, Rui Soares “Tendências Tecnológicas na Indústria de Moldes”, Novembro de 2003