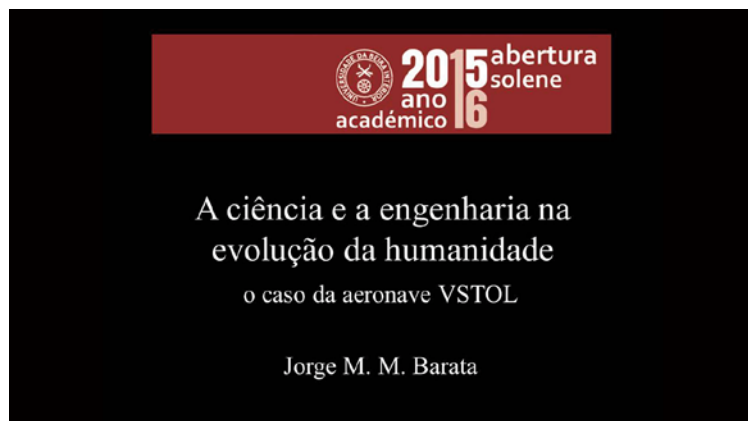




 **2015** abertura  
ano solene  
académico **16**

Oração de Sapiência  
“A ciência e a engenharia na  
evolução da humanidade:  
o caso da aeronave de VSTOL”

7 outubro 2015  
Anfiteatro das Sessões Solenes  
Universidade da Beira Interior



Magnífico Reitor da Universidade da Beira Interior

Senhor Vice-Presidente do Conselho Geral da Universidade da Beira Interior

Senhor Bispo da Guarda

Senhora Presidente da Associação Académica da Universidade da Beira Interior

Senhores Antigos Reitores da Universidade da Beira Interior

Estimados alunos

Prezados funcionários não-docentes

Ilustres professores, assistentes, investigadores e bolseiros

Senhores membros do Conselho Geral

Senhor Provedor do Estudante da Universidade da Beira Interior

Senhores Reitores das Universidades Portuguesas e seus representantes

Senhor Presidente do Instituto Politécnico da Guarda

Senhor Presidente da Câmara Municipal da Covilhã

Senhor Presidente da Câmara Municipal de Manteigas

Senhores Presidente do Conselho de Administração do Centro Hospitalar da Cova da Beira

Digníssimas autoridades civis, militares, judiciais, religiosas e académicas

Minhas Senhoras e meus Senhores


Em primeiro lugar, tenho a agradecer ao Magnífico Reitor o convite que me foi formulado para proferir a Oração de Sapiência na Sessão Solene de Abertura do Ano Académico 2015/2016.

Depois, pela sugestão exemplificativa, que fez, do tema da emissão de poluentes no âmbito das Ciências Aeroespaciais, que é, de fato, um tema revelador da experiência internacional que temos vindo a desenvolver, no Departamento de Ciências Aeroespaciais da Faculdade de Engenharia, propalando no resto do mundo uma imagem estendida da UBI, que é uma Universidade jovem e pequena, localizada numa região retraída.


Apesar da infeliz atualidade do tema, devido ao setor automóvel, escolhi um outro assunto, mais abrangente, mas ainda mais revelador da procura do conhecimento científico e tecnológico de excelência, que se pretende plasmar num ensino superior moderno baseado na inovação.

O objetivo cardeal da presente oração é apresentar algumas reflexões sobre a ciência e a engenharia na evolução da humanidade, usando, como exemplo, a aeronave de aterragem e descolagem vertical (VSTOL).

## Introdução



O diâmetro equatorial da Terra é cerca de 12 756Km. A distância da Terra ao Sol cerca de 150 milhões de Km. A distância a Plutão 4 700 milhões de Km. Em termos do tempo que a luz demora a percorrer aquelas distâncias tratam-se de 8,33 minutos e 4,35 horas, respetivamente. A Via Láctea tem cerca de 100 a 120 mil anos luz de diâmetro. Em 1995, o telescópio Hubble foi apontado para um ponto escuro do espaço, no qual, supostamente, não existiria nada e ao fim de alguns dias de observações concluiu-se que para lá desse ponto existiriam cerca de 10 000 galáxias. Em 1998 descobriu-se que, tal como Edwin Hubble defendera nos anos 20, o Universo está a expandir-se. Essa expansão, cada vez mais rápida, é provocada por uma força a que se chama energia negra ou escura, que, de acordo com Alex Filippenko, contém 72% da densidade de energia do Universo, mas que é um mistério. Outra componente necessária à compreensão do futuro do Universo é a matéria negra ou escura, uma substância invisível, que só é detetável pela distorção que provoca às coisas que estão por detrás dela, revelando o desvio da luz por ação de uma força, do tipo da gravitacional.



Esta matéria estima-se representar 23% do Universo. Somando os 72% correspondentes à energia negra ou escura obtemos um grau de 95% de invisibilidade e incompreensão do que rodeia a humanidade.

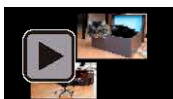
Portanto, sabe-se muito pouco.

E, porque é que preciso saber-se?

Para assegurar a sua subsistência, a grande parte dos seres vivos, não necessitam senão dos meios naturais disponíveis.

Os animais, em particular, são capazes de, instintivamente, fazerem grandes migrações ou adaptarem-se ao seu meio, sem necessidade de cálculos ou experiências complexas. Todos eles centram as suas atividades em duas necessidades: comida e sexo. São estas necessidades que o relógio biológico desperta automaticamente, nos instantes adequados.

Será o ser humano muito diferente? Nestes dois aspetos não. Contudo, cada ser humano revela atitudes muito distintas e únicas, apesar da sua matriz biológica semelhante. Para além daquelas duas componentes, comuns aos restantes animais, o bem-estar é apreendido por cada indivíduo de uma forma distinta.



Um indivíduo pode sentir-se bem se estiver numa cadeira espreguiçadeira durante várias horas, completamente abstraído de tudo, em dias consecutivos. O mesmo acontece com um gato, mas este tem o seu relógio biológico, irresistível, que o obriga a deslocar-se para comer, enquanto o ser humano pode manter-se naquela situação mesmo fora das suas necessidades biológicas (se quiser ou for obrigado por outro ser humano). Outros gostarão de fazer mal a si próprios ou aos outros, sem qualquer necessidade, nem saberem o porquê da sua atitude.

O que realmente é diferente no ser humano é a sua capacidade de fazer raciocínios complexos, com bases e resultados reais ou fictícios, obtendo sentimentos físicos e espirituais de bem-estar ou sofrimento. Esquecendo os sentimentos negativos, que não representam a norma, a utilização do cérebro nessas atividades mentais é, de longe, o que mais distingue o ser humano.

Um importante exemplo é a observação e compreensão do ambiente envolvente, que tem vindo a viabilizar uma quota cada vez maior do bem-estar humano.



## Ciência

Não querendo apresentar nenhuma conclusão ou pensamento acerca da história da ciência ou da filosofia da ciência, indicarei apenas alguns aspetos da metodologia científica originária do pensamento de Descartes e aplicada por Isaac Newton.

René Descartes propôs como base do método científico a dúvida sistemática e a decomposição de um problema em várias componentes mais simples. O investigador deveria formular hipóteses de explicação de fenómenos, testando a sua validade objetivamente. As hipóteses confirmadas dariam origem a teorias científicas, que integravam todo o conhecimento obtido a partir dos diversos sub-problemas que eram equacionados.



Newton aplicou esta metodologia e produziu contribuições importantes em diversas áreas como, por exemplo, a Matemática ou a Física. Uma das mais relevantes é, sem dúvida, o livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica – Definitiones*<sup>1</sup> publicado em 1687 no qual enunciou as três leis de Newton, que têm sido uma das bases da engenharia. Tal como foi escrita por Isaac Newton, a 1ª Lei de Newton (princípio de inércia) estipula que

*Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi  
iniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum  
illum mutare.*

---

A 2ª (princípio da dinâmica) que

*Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ, & fieri  
secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*

---

E, finalmente, a 3ª Lei (princípio de ação e reação) que

---

<sup>1</sup> Newton, Isaac. “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”, 1729. Versão original digitalizada disponível em [https://la.wikisource.org/wiki/Philosophiae\\_Naturalis\\_Principia\\_Mathematica](https://la.wikisource.org/wiki/Philosophiae_Naturalis_Principia_Mathematica) (página visitada em 26 de setembro de 2015).

*Actioni contrariam sempre & æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo sempre esse æquales & in partes contrarias dirigi.*

---

Para além dos seis corolários das três Leis do Movimento, Newton apresentou diversas definições, das quais destaco uma de importância decisiva para o setor aeroespacial e que é a de quantidade de movimento:

*Quantitas motus est mensura ejusdem orta ex Velocitate et quantitate Materię conjunctim.*

---

Isto é,

*Motus totius est summa motuum in partibus singulis, adeoque in corpore duplo majore æquakli cum Velocitate duplus est, et dupla cum Velocitate quadruplus.*

Apesar da grande importância do trabalho de Newton para as Ciências Aeroespaciais e para a Humanidade de uma maneira geral, a questão da eventual definição de Ciência não se detém por aqui. Singh Simon<sup>2</sup>, no final do seu livro Big Bang, apresenta diversas citações de outros autores, numa tentativa de completar uma definição de Ciência e do seu modo de funcionamento, que considera não ter conseguido na sua plenitude com o exemplo que descreve (da teoria do Big Bang) ao longo de centenas de páginas. Destaco as seguintes:

*Science is what you know. Philosophy is what you don't know* – Bertrand Russell

*In essence, science is a perpetual search for an intelligent and integrated comprehension of the world we live in* – Cornelius Van Neil

*Science can only ascertain what is, but not what should be, and outside of its domain value judgements of all kind remain necessary* – Albert Einstein.

---

<sup>2</sup> Singh, Simon. “Big Bang: The Most Important Scientific Discovery of All Time and Why You Need to Know About It”, Harper Perennial, London, 2005.



## Engenharia

O conceito de Engenharia é, igualmente, complexo.

Recentemente, passou a “poder ser” a *manipulação da informação para atingir determinados fins*. Este é o caso da engenharia financeira ou da engenharia política.

Outra designação é *um conjunto de técnicas e métodos para aplicar o conhecimento técnico e científico na planificação, criação e manutenção de estruturas, máquinas e sistemas para benefício do ser humano*<sup>3</sup>. Semelhante, mas diferente, é a que define Engenharia como *aplicação dos princípios científicos à exploração de recursos naturais, ao projeto e construção de comodidades e ao fornecimento de utilidades*<sup>4</sup>. Há muitas mais definições, mas, todavia, a mais interessante e mais praticada outrora, será a do Petit Larousse:

*Étude d'un projet industriel sous tous ses aspects (techniques, économiques, financiers, monétaires et sociaux), qui nécessite un travail de synthèse coordonnant les travaux de plusieurs équipes de spécialistes*<sup>5</sup>.

Na realidade, o atualmente apelidado descrédito da profissão do engenheiro deve-se à prevalência dos aspetos puramente técnicos em detrimento das outras componentes atrás enumeradas.



## O caso do avião de VSTOL

### O início (1ª e 2ª gerações)

A aeronave de VSTOL nasceu também a partir da atividade cerebral do ser humano, mas não terá resultado de uma observação direta do Mundo ou do Universo.



Contudo, tal não era de todo impossível ter acontecido, embora fosse de muito difícil concretização técnica. Na realidade, se há aves que dependem sobretudo das suas asas para levantar e voar, também há outras como o estorninho (*Sturnus vulgaris*) ou a codorniz

---

<sup>3</sup> "engenharia", in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa [em linha], 2008-2013, <http://www.priberam.pt/dlpo/engenharia> [consultado em 30-09-2015].

<sup>4</sup> "engenharia", in “Dicionário da Língua Portuguesa”, 8ª edição, Porto Editora, 1998, pp.618.

<sup>5</sup> “ingénierie”, in “Le Petit Larousse Illustré”, Paris, 1999, pp.546.

(*Coturnix coturnix*), cujas pernas são responsáveis pela produção de cerca de 90% da velocidade vertical<sup>6,7</sup> em descolagem.

Assim, a aeronave de VSTOL nasce na sequência das já existentes, dependendo, por isso, da resolução de problemas técnicos também existentes no voo convencional.

De facto, o voo convencional só foi viabilizado no modo que o conhecemos hoje-em-dia, quando Sir George Cayley separou, contra tudo o que se podia observar na natureza, os conceitos de sustentação e propulsão.

Assim, bastaria produzir uma força propulsiva, que, de acordo com a 3ª Lei de Newton, teria como reação o movimento do avião e, ao fazer passar o ar por uma superfície com a curvatura adequada, seria gerada uma força centrífuga, equilibrada, de acordo com a mesma Lei, por uma força e gradiente de pressão vertical.

A força propulsiva foi inicialmente obtida usando um conjunto de motor de combustão interna e hélice, tornando possível o primeiro voo dos irmãos Wright em 17 de dezembro de 1903 ou do brasileiro Santos Dumont em 23 de outubro de 1906 em Paris.



Apesar de o conceito do motor a reação (ou a jato) ter aparecido através da invenção da *eolípila* por Heron de Alexandria no 1º século AC e continuado com os foguetes chineses e as armas de fogo, somente em 1930 é registada a primeira patente de motor turbo-jato por Frank Whittle e nove anos mais tarde, em 1939, aparece o primeiro avião a jato, o Heinkel He 178, ainda com um compressor radial.



No final da 2ª Guerra Mundial, o Messerschmitt Me 262, com o motor Junkers Jumo 004, já com um compressor axial, deu origem à era dos motores de reação, embora não tenha sido produzido a tempo de alterar o desenrolar da guerra.

Um dos requisitos mais importantes de uma aeronave de VSTOL é a força a produzir pelos motores, necessária à descolagem, ter de ser superior ao seu peso total.

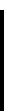
---

<sup>6</sup> Witfield, John. “Off to a flying jumpstart”, Published online 10 March 2000, *Nature*, doi:10.1038/news000316-1, [consultado em 30-09-2015].

<sup>7</sup> Earls, K. D. Kinematics and mechanics of ground take-off in the starling *Sturnis vulgaris* and the quail *Coturnix coturnix*. *The Journal of Experimental Biology*, vol. 203, 2000, pp. 725 - 739. |



Por isso, pode dizer-se que só ficaram criadas as condições para o aparecimento deste tipo de aeronave com o desenvolvimento do motor a jato.



Com o terminar da guerra e as lições aprendidas ao longo da mesma e com o receio dos níveis do poder de destruição atingidos, começaram a surgir, principalmente na Europa, novas ideias de defesa militar. Seria possível, para um Estado lançar um ataque e destruir em poucas horas todas as pistas de aviação e aviões aí estacionados e até a própria Marinha, diminuindo, significativamente, a capacidade de reação.

A solução seria o desenvolvimento de uma aeronave capaz de descolar e aterrar verticalmente a partir de espaços reduzidos, fora das bases aéreas. Diversas unidades seriam distribuídas por vários locais, onde seriam escondidos, para serem usados, rapidamente, para anular um possível ataque.



Em 1955 já tinha aparecido o avião *Short S.C.1*, do qual foram construídas duas unidades em Belfast e que tinham cinco motores turbo jato. Os escapes de quatro desses motores estavam dirigidos para baixo produzindo jatos incidentes no chão, que, pela 3ª Lei de Newton, davam origem à força vertical de descolagem. O quinto motor era usado somente para a propulsão convencional e, após um período de transição, os restantes motores eram desligados. Este avião tinha um peso elevado e os quatro jatos incidentes produziam um tipo de escoamento ainda não conhecido na sua plenitude, levantando problemas aerodinâmicos graves.

Em paralelo, na Califórnia, a força aérea americana (*USAF*) estava a desenvolver o *Ryan X-13 Verti-Jet*, que usava o mesmo motor para a descolagem, como um foguetão, o que implicava o posicionamento da aeronave na vertical, encostado a uma rampa. A pilotagem era extremamente difícil, sobretudo a transição para o voo convencional, tendo-se revelado impraticável a sua utilização.

Na Alemanha, o *VAK 191B* começou a ser desenvolvido no início dos anos 70. Este avião usava 4 motores derivados do *S.C.1* para a descolagem e também para o voo convencional com a rotação da tubeira de escape, aos quais se juntava um quinto na extremidade posterior.

Uns anos antes, também na Alemanha, foi testada uma outra aeronave: o *VJ 101*. Tinha seis motores Rolls-Royce turbo-jato, quatro dos quais eram montados dois a dois nas extremidades

da asa e os eixos podiam rodar da horizontal para a vertical. Os outros dois motores eram usados só durante a descolagem e tinham o seu eixo sempre na vertical.

Os Franceses construíram, igualmente, um avião de VSTOL, baseado no *Dassault Mirage 3* e chamado *Balzac*, que até chegou a ser usado numa série televisa dos finais dos anos 60. Este avião ainda usava mais motores: oito no total.

Todas estas soluções, apelidadas de 1ª e 2ª geração, tinham problemas durante a descolagem, na transição para voo convencional e, sobretudo, um peso “morto” durante o voo convencional, que limitava fortemente a carga útil e a autonomia.

### **Harrier/ AV-8B (3ª geração)**

Em 1954, na Inglaterra, a Rolls-Royce testou a chamada *Flying Bedtest* usando apenas dois motores *Nene MK4*. Este aparelho era, na realidade um laboratório de ensaios para medição de forças de propulsão, também designado por *Rolls-Royce Thrust Measuring Rig (TMR)* e é considerado como o início da 3ª geração das aeronaves de VSTOL, na época chamados apenas de VTOL (*Vertical Takeoff and Landing*). Eram usadas quatro tubeiras para produzir jatos orientáveis e que eram usados em todas as fases de voo, incluindo a descolagem e aterragem vertical.

Dez anos mais tarde, com o desenvolvimento de um motor mais potente da Rolls-Royce, o *Hawker P.1127* usava a mesma solução da *Flying Bedtest*, mas com um único motor chamado *Pegasus*. Este avião tinha ainda alguns problemas aerodinâmicos, que descrevo mais à frente e que produziam efeitos indesejáveis na proximidade do solo.

A evolução seguinte designou-se *Hawker Siddeley Kestrel FGA.1* e a seguir *Harrier*. Posteriormente, apareceram novas versões como o *AV-8B*, que foi otimizado pelos ingleses em conjunto com os Estados Unidos. O *Harrier AV-8B* é a aeronave de VSTOL, atualmente em operação, com um único motor de elevada razão de *by-pass*, que fornece a força de propulsão e também a de descolagem através da sua vectorização. Contudo, o motor é excessivamente grande e consome demasiado combustível para poder ser integrado com sucesso numa fuselagem adequada ao voo supersónico.



### JSF/ F35-B (4ª geração)

Em 1980, iniciaram-se, em paralelo, três iniciativas que influenciaram decisivamente a futuro das aeronaves de VSTOL.

A Marinha Americana promoveu um estudo sobre o futuro da aviação naval e concluiu que uma força aérea naval baseada na utilização e manutenção da tecnologia de VSTOL seria mais cara do que uma de tipo convencional, utilizando porta-aviões e iniciou a construção de mais duas unidades de propulsão nuclear.

Por outro lado, a NASA iniciou um programa de I&DT, que designou de ASTOVL (*Advanced Short Takeoff and Vertical Landing*), com o objetivo de reduzir os custos de inerentes a um avião supersônico deste tipo.

No Reino Unido, o Ministério da Defesa (MOD) inicia também um programa de financiamento de atividades de investigação e desenvolvimento de conceitos inovadores para um sucessor do *Harrier AV-8B*.



É nesta altura que se inicia a nossa colaboração, integrada nesse programa, com o estudo dos efeitos aerodinâmicos dos jatos de descolagem na proximidade do solo, incluindo configurações de dois jatos lado-a-lado e duas configurações de três jatos.

Os efeitos de solo são da maior importância, porque podem alterar as forças de descolagem, causar a reingestão de gases queimados pelos motores com a consequente perda de potência, para além de provocarem temperaturas elevadas na fuselagem<sup>8</sup>.



Inicialmente, foram realizados estudos computacionais de jatos axissimétricos e retangulares sobre superfícies, assim como da colisão de dois jatos de parede bidimensionais usando, para validação, medidas experimentais realizadas nos Estados Unidos por Davanipour e Sami<sup>9</sup> e Gilbert<sup>10</sup>. Estes testes permitiram a validação do método empregue e confirmaram a sua capacidade para simulação do arrastamento do ar em repouso pelo jato incidente causando pressões negativas e de um escoamento em repuxo, resultante da colisão de dois jatos de

---

<sup>8</sup> Barata, J.M.M. “Estudo Numérico de Jatos Incidentes Sobre Superfícies Planas”. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico, 1985.

<sup>9</sup> Davanipour, T. and Sami, S. “Short Jet Impingement”, *J. of the Hyd. Division*, vol. HY5, May 1977, pp. 557-567.

<sup>10</sup> Gilbert, B.L. “Detailed Turbulence Measurements in a Two-Dimensional Upwash”, AIAA 16<sup>th</sup> Fluid and Plasma Dynamics Conference, July 12-14, 1983, Danvers, Massachusetts.

parede, que num avião de VSTOL em efeito de solo poderiam dar origem à queda do aparelho na direção do solo e à alteração dos momentos de arfagem e rolamento, respetivamente.

Na fase seguinte, foi incluído o efeito de um vento lateral ou do movimento inicial da aeronave ao levantar voo, cujo modelo básico é o de um jato incidente sobre uma superfície através de um escoamento cruzado. Devido à falta de resultados experimentais foram também efetuados estudos de visualização e medições com anemometria laser para números de Reynolds baseados nas condições à saída do jato de  $4 \times 10^4$  até  $10^5$ , razões de velocidade entre o jato e o escoamento cruzado,  $V_j/U_0$ , iguais a 30, 45 e 73 e alturas de incidência  $H$  iguais a 3, 4 e 5 diâmetros do jato<sup>11</sup>. Estes estudos revelaram uma estrutura do jato incidente composta por uma zona de cone potencial, onde as características do escoamento são semelhantes à de um jato livre, uma zona de incidência no solo onde o jato é totalmente defletido<sup>12</sup>, depois de ligeiramente vergado pela diferença de pressão existente através do jato. O escoamento fica então quase paralelo à placa como um jato de parede radial, no qual os efeitos da zona de estagnação deixam de ser importantes. O jato de parede a montante interage com o escoamento cruzado, dando origem a um vórtice de parede, junto à superfície, que envolve a zona de estagnação como um cachecol. Assim, dois vórtices desenvolvem-se para jusante, lado-a-lado, decaindo numa zona mais afastada do ponto de estagnação. Junto à saída do jato, na parede superior, existe um outro vórtice, mais pequeno, designado vórtice em ferradura. Além disto, a zona de incidência é caracterizada pela existência de parâmetros estruturais da turbulência que se afastam dos valores convencionais e requer uma atenção especial no que diz respeito à modelação das tensões de Reynolds.

Foram também estudadas configurações de dois jatos lado-a-lado<sup>13</sup>, que se caracterizam pela formação de um escoamento em repuxo, entre os dois jatos incidentes, devido à colisão dos dois jatos de parede resultantes. Esta parte do escoamento revelou-se assimétrica, com elevadas intensidades de turbulência e provou-se que influencia os dois vórtices de parede, resultantes de cada jato incidente, obrigando-os a fundir na região mais afastada a montante.

---

<sup>11</sup> Barata, J.M.M., Durão, D.F.G. and M. V. Heitor. “Experimental and Numerical Study on the Aerodynamics of Jets in Ground Effect”, Tenth Symposium on Turbulence, September 22-24, Rolla, Missouri, 1986.

<sup>12</sup> Barata, J.M.M., Durão, D.F.G. and McGuirk, J.J. “Numerical Study of Single Impinging Jets Through a Crossflow”, *Journal of Aircraft*, vol.26, no.1, November, 1989, pp.1002-1008.

<sup>13</sup> Barata, J.M.M., Durão, D.F.G., Heitor, M.V. and McGuirk, J.J. “The Impingement of Single and Twin Turbulent Jets Through a Crossflow”, *AIAA Journal*, vol.29, no.4, April 1991, pp.595-602.



Outra solução possível para uma aeronave de VSTOL seria o uso de três jatos: dois jatos de descolagem (como no *Harrier AV-8B*) e um jato vectorizável para descolagem e voo convencional. Este caso, foi estudado para  $V_j/U_0=30$ ,  $H/D=5$ ,  $S/D=5$  e  $L/D=15$ <sup>14</sup>, revelando uma zona de escoamento em repuxo entre os três jatos incidentes com o seu eixo inclinado para montante  $155^\circ$  em relação ao sentido do escoamento cruzado. Outros aspetos, como a localização do ponto de estagnação no solo ou as características turbulentas do escoamento em repuxo, são de interesse para VSTOL e também igualmente estudadas experimental e computacionalmente.



Entretanto, a partir de 1993 começou a prevalecer a ideia de haver um programa, em vez de vários, para o desenvolvimento de uma única aeronave, que substituisse, simultaneamente, o *Harrier AV-8B*, o *F-16* e o *F-18*. Em 1996, com algumas fusões (da McDonnell Douglas com a Boeing, enquanto que a BAE e a Northrop Grumman se juntaram à Lockheed Martin) e cancelamentos de outros programas, nasce o JSF (*Joint Strike Fighter*) com a seleção da Boeing e da Lockheed Martin para a construção de aeronaves de demonstração. Nesse ano, é apresentado o sistema de propulsão SLDF (*Shaft Driven Lift Fan Propulsion System*), que consiste numa *fan* para produzir a força de descolagem, que é acionada por um motor que também assegura a força de propulsão em voo convencional. Durante a descolagem vertical, a tubeira de exaustão é também virada para o chão e produz força para a descolagem. Este sistema, embora parecendo simples e fácil, é difícil de pôr em funcionamento, devido à necessidade de implementar dois ciclos termodinâmicos e objectivos distintos com o mesmo motor, para fornecer a energia necessária para o voo convencional e acionamento da *fan* de descolagem. Esse tipo de ciclo é designado ciclo dual, cujo funcionamento transcende o âmbito desta oração. Bastará dizer que, na situação de descolagem, a *fan* é engrenada no veio do motor, que fica com uma parte da energia produzida a ser convertida em energia mecânica no veio, em vez de força de propulsão na tubeira de exaustão. Esta invenção é devida a Paul Bevilaqua, que foi homenageado na *International Powered Lift Conference* desse ano pelo feito.

Finalmente, no final de 2000 a Lockheed Martin é declarada a vencedora do concurso, com a adoção daquela solução e o programa passa a designar-se *F-35 Lightning II*.

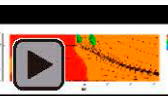
---

<sup>14</sup> Barata, J.M.M., Durão, D.F.G., Heitor, M.V. "Velocity Characteristics of Multiple Impinging Jets Through a Crossflow", *Journal of Fluids Engineering*, Vol.114, 1992, pp.231-239.



A partir desta altura, passa a ser relevante o estudo de uma nova configuração de dois jatos alinhados com o escoamento cruzado, que até então não haviam recebido grande atenção<sup>15</sup>.

Esta configuração foi estudada com duas unidades de 15mm de diâmetro cada, que são montadas numa parede superior, representando a parte inferior da fuselagem, a 20.1 diâmetros de distância da superfície inferior<sup>16</sup>. Realizaram-se medidas com anemometria laser, que foram complementadas com estudos computacionais. O espaçamento entre jatos é  $L/D=6$  e foram estudadas razões de velocidade  $V_j/U_0$  desde 7.5 até 90.



Para razões de velocidade de 22.5 a 43.8 não foi detetado qualquer escoamento “em repuxo”, que pudesse produzir uma força vertical adicional como no *Harrier AV-8B*. Para razões de velocidade mais baixas (7.5 e 15) os jatos não se misturam e mantêm-se em duas camadas. Como consequência, para  $V_j/U_0=15$  o jato posterior não incide diretamente no solo, mas sim no jato de parede resultante do primeiro jato a montante. Para razões de velocidade superiores a 22.5, ocorre sempre a formação de um único jato de parede, que envolve os dois jatos, mas o seu tamanho e localização depende dessa mesma razão.

O passo seguinte será a investigação do efeito das variações da quantidade de movimento de cada jato por efeito da velocidade ou do caudal. Há, igualmente, necessidade de estudar se os diferentes regimes, já identificados para o caso de um jato incidente<sup>17</sup>, alguns dos quais provocam a sucção da aeronave em direção ao solo, ocorrem também para esta configuração.



## Conclusão

Este caso da aeronave de VSTOL é um exemplo de como a ciência e a engenharia podem desempenhar papéis importantes na evolução da humanidade.

Também revela que o processo de transformação de ciência em tecnologia inovadora através da engenharia não é um processo simples, nem rápido.

---

<sup>15</sup> Barata, J.M.M., Carvalho, P.S.D., Neves, F.M.S.P., Silva, A.R.R., Vieira, D.F.C., and Durão, D.F.G., “Laser Doppler Measurements of Twin Impinging Jets Aligned With a Crossflow”, *Journal of Physical Science and Application*, ISSN 2159-5348, David Publishing, USA, Vol. 4, No. 7, Julho 2014, pp. 403-411.

<sup>16</sup> Barata, J.M.M., Neves, F.M.S.P., Vieira, D.F.C. e Silva, A.R.R., “Experimental Study of Two Impinging Jets Aligned With a Crossflow”, *Journal of Modern Physics*, ISSN 2153-1196, Scientific Research, Vol. 5, No. 16, Outubro 2014, pp. 1779-1788, (<http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2014.516175>).

<sup>17</sup> Barata, J.M.M. “Twin Impinging Jets Aligned With a Crossflow”, Artigo AIAA 2013-3600, 49th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, San Jose, California, 15-17 July, 2013.



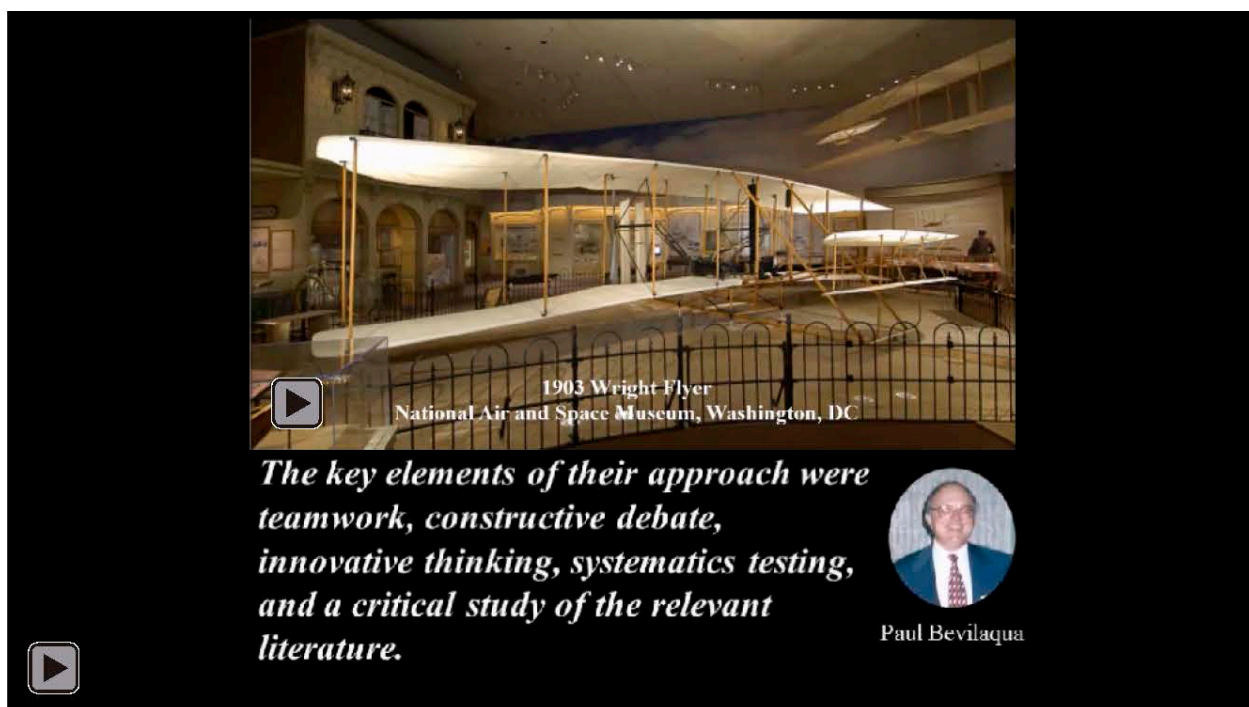
Confirma-se que a definição de engenharia, abrangendo todos os aspetos de um projeto, que necessita de um trabalho de síntese coordenando os trabalhos de várias equipas de especialistas deverá ter mais sucesso em casos de maior complexidade.

Como disse Paul Bevilaqua<sup>18</sup> acerca do trabalho pioneiro dos irmãos Wright,

*The key elements of their approach were teamwork, constructive debate, innovative thinking, systematics testing, and a critical study of the relevant literature.*

Jorge M. M. Barata

outubro, 2015



---

<sup>18</sup> Bevilaqua, P.M. “Inventing de F-35 Joint Strike Fighter”, 2009 Wright Brothers Lectureship in Aeronautics, Paper AIAA 2009-1650, 47<sup>th</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 5-8 January 2009, Orlando, FL.