UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO JAQUELINE LETÍCIA DO CARMO

O MENINO QUE QUERIA VOAR: OS ESTUDOS DE VOO DE LEONARDO DA VINCI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO JAQUELINE LETÍCIA DO CARMO

O MENINO QUE QUERIA VOAR: OS ESTUDOS DE VOO DE LEONARDO DA VINCI

Monografia apresentada como parte dos requisitos necessários para aprovação no componente curricular "Trabalho de Conclusão de Curso" de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Maringá.

Área de concentração: Ciências Exatas

Orientação: Professor Dr. Marcos Cesar

Danhoni Neves

JAQUELINE LETÍCIA DO CARMO

O MENINO QUE QUERIA VOAR: OS ESTUDOS DE VOO DE LEONARDO DA VINCI

Monografia apresentada como parte dos requisitos necessários para aprovação no componente curricular "Trabalho de Conclusão de Curso" de Licenciatura em Física da Universidade Estadual de Maringá.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. Daniel Gardelli Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Me. Arquimedes Luciano Universidade Estadual de Maringá - UEM

Maringá 2016

"Só a arte permite a realização de tudo que na realidade a vida recusa ao homem" (Johann Goethe).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha família. Ao meu pai, que queria uma advogada, terminou com uma professora, mas a amou o suficiente para se orgulhar da mesma forma. À minha mãe, por ler livros para mim quando eu era criança, e por todo o incentivo e amor incondicional. À minha irmã, pela melhor companhia em todas as tardes de procrastinação durante a elaboração deste trabalho (culpem-na!).

Muitos agradecimentos aos professores Marcos Danhoni e Daniel Gardelli. A meu orientador por tornar possível a realização desse trabalho e pelos cursos de verão (que "salvaram nossas vidas"); e a ambos pelas aulas inspiradoras, por apresentarem visões questionadoras que me ensinaram que doutrinas precisam ser rompidas e abandonadas dentro da ciência, pois esta não é (e, portanto, não deve ser tratada como) uma religião.

Agradeço também ao Professor Arquimedes Luciano por ter disponibilizado os softwares que foram fundamentais para a produção deste trabalho, e por ter aceitado participar da banca.

Especialmente, gostaria de agradecer ao Henrique e ao Higor. O primeiro por sua habilidade artística, que me ajudou a transformar este trabalho completamente. O segundo pela grande ajuda na correção ortográfica. Sem a ajuda deles, este trabalho estaria fadado ao caos e desastre (na verdade só teria ficado bem mais simples mesmo). Também quero agradecê-los por todo o apoio, por acreditarem em mim em todas as incontáveis vezes que perdi o entusiasmo.

Agradeço ao grupo PET-Física, por proporcionar oportunidades que me fizeram crescer não só como aluna, mas também (e talvez principalmente) como pessoa, por todas as amizades que fiz durante o programa, e pelos inúmeros ensinamentos que pude receber do tutor.

Finalmente, um agradecimento aos meus amigos Alisson, Rubia e Alan, pela companhia nas madrugadas de profundas reflexões, que às vezes não eram tão profundas assim. Por sempre estarem dispostos a ajudar com qualquer problema (matemático ou não) e por todas as tardes de estudo durante a graduação.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

Muito antes da invenção do avião, Leonardo da Vinci já pensava em maneiras de cair suavemente de grandes alturas. Chegou a desenhar várias máquinas voadoras, porém poucos projetos concebidos pelo polímata italiano foram construídos durante sua vida, pois a tecnologia da época não estava à altura da sofisticação e das teorias futurísticas do cientista. Este trabalho apresenta um resgate desses estudos e máquinas de voo feitos por Leonardo da Vinci, onde se pretende fazer uma ligação interdisciplinar entre Arte e Ciência, buscar o enriquecimento através de colaborações interdisciplinares de forma que o pensamento científico possa ir além, assumindo uma postura sem preconceitos e valorizando o conhecimento em sua totalidade. Mais de vinte esboços de máquinas e equipamentos para estudar o voo foram encontrados dispersos em diversos códigos de Leonardo e trazidos a este documento, algumas das quais poderiam funcionar (ou funcionam) perfeitamente ou com pequenos ajustes.

Palavras-chave: História da Ciência; Aerodinâmica; Arte-ciência; Leonardo da Vinci; Renascimento; Voo.

ABSTRACT

Long before the invention of the airplane, Leonardo da Vinci already thought about ways to gently fall from great heights. He designed several flying machines, but few designs made by him couldn't be built during his lifetime, because the technology of the time was not up to the sophistication and futuristic theories of the scientist. This work brings a rescue of Leonardo da Vinci's studies about flight and flying machines, it is intended to make an interdisciplinary link between Art and Science, to find enrichment, through interdisciplinary collaborations, so that scientific thought can go beyond, assuming a position without prejudices and valuing the knowledge in its totality. More than twenty sketches of machines and equipment to study flight were found dispersed in several Leonardo's codexes and brought it to this document, some of which could (or do) work perfectly or with minor adjustments.

Keywords: History of Science; Aerodynamics; Art and Science; Leonardo da Vinci; Renaissance; Flight.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esboço da Bicicleta Voadora	28
Figura 2 – Desenho realístico da Bicicleta Voadora	29
Figura 3 – Desenho realístico do Tandem Voador	29
Figura 4 – Esboço criado para a Águia Mecânica	30
Figura 5 – Desenho realístico da Águia Mecânica	31
Figura 6 – Esboço Leonardesco da Máquina com Motor Leaf-Spring	31
Figura 7 – Máquina com Motor Leaf-Spring	32
Figura 8 – Esboço criado para a Máquina Voadora de Milão	33
Figura 9 – Desenho realístico da Máquina Voadora de Milão	34
Figura 10 – Máquina Voadora de Milão construída pela equipe Leonardo3	34
Figura 11 – Esboço Leonardesco do Navio Voador	35
Figura 12 – Navio Voador	35
Figura 13 – Esboço DaVinciano do Ornitóptero Horizontal	36
Figura 14 – Desenho realístico do Ornitóptero Horizontal	37
Figura 15 – Esboço Leonardesco do Ornitóptero Vertical	37
Figura 16 – Ornitóptero Vertical	38
Figura 17 – Esboço criado para a máquina Grande Pássaro	39
Figura 18 – Grande Pássaro construída pela equipe Leonardo3	40
Figura 19 – Esboço criado para o Planador com Asas Manobráveis	41
Figura 20 – Planador com Asas Manobráveis	42
Figura 21 – Esboço Leonardesco do Planador Simples	42
Figura 22 – Modelo em escala testado no Túnel de Vento	43
Figura 23 – Planador construído e testado por Simon Sanderson	44
Figura 24 – Esboço criado para o Morcego Mecânico	44
Figura 25 – Morcego Mecânico	45
Figura 26 – Esboço do Paraquedas DaVinciano	46
Figura 27 – Paraquedas testado por Adrian Nicholas	47
Figura 28 – Paraquedas produzido com materiais modernos testado por Oliver	48
Figura 29 – Esboço DaVinciano da Esfera Voadora	49

Figura 30 – Desenho Realístico da Esfera Voadora	50
Figura 31 – Modelo da Esfera testado no Túnel de Vento	50
Figura 32 – Esboço Leonardesco do Parafuso Aéreo	51
Figura 33 – Modelo em exposição no Museu Nacional de Ciência e Tecnologia	52
Figura 34 – Esboço do Anemômetro Leonardesco.	53
Figura 35 – Anemômetro.	53
Figura 36 – Esboço DaVinciano do Inclinômetro	54
Figura 37 – Inclinômetro.	54
Figura 38 – Esboço Leonardesco da Estrutura de uma Asa	55
Figura 39 – Estrutura de uma Asa	55
Figura 40 – Esboço Leonardesco da Asa Articulada	56
Figura 41 – Esboço Leonardesco Asa Articulada verso	57
Figura 42 – Esboço DaVinciano da Asa com Inclinação Ajustável	58
Figura 43 – Esboço Leonardesco do Batedor de Asa	59
Figura 44 – Dispositivo para testar o bater de uma asa	60
Figura 45 – Esboço criado para a Libélula Mecânica.	60
Figura 46 – Miniatura da Máquina Libélula Mecânica	61
Figura 47 – Esboço Leonardesco do Pássaro Marionete	62
Figura 48 – Pássaro Marionete construído pela equipe Leonardo3	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	CONTEXTO HISTÓRICO	13
2.1	Renascimento	13
2.2	2 Leonardo da Vinci	16
3	O SONHO DE VOAR	20
3.	1 Estudos Sobre o Voo	23
	Código Atlântico	23
	Código de Voo	
3.2	2 As máquinas e instrumentos de voo	27
	3.2.1 DISPOSITIVOS DE VOO BATIDO	28
	Bicicleta voadora e Tandem Voador	28
	Águia mecânica	30
	Motor Leaf-Spring	31
	Máquina Voadora de Milão	
	Navio Voador	35
	Ornitóptero Horizontal	36
	Ornitóptero Vertical	
	Grande Pássaro	39
	3.2.2 DISPOSITIVOS DE VOO PLANADO	41
	Planador com Asas Manobráveis	41
	Planador Simples	42
	Morcego Mecânico	44
	Paraquedas	46
	Esfera Voadora	49
	3.2.3 DISPOSITIVOS E PEÇAS PARA ESTUDOS	51
	Parafuso Aéreo	
	Anemômetro	53
	Inclinômetro	54
	Estrutura de uma Asa	55
	Asa Articulada	56
	Asa com Inclinação Ajustável	58
	Batedor de Asa	59
	Libélula Mecânica	60
	Pássaro Marionete	62.

4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5	REFERÊNCIAS	65
6	ANEXOS	70

1. INTRODUÇÃO

Muito se discute sobre a importância da história da ciência na construção do conhecimento. Qual a conexão entre o desenvolvimento científico e o de outros aspectos num mesmo contexto histórico? Existe uma relação entre as pesquisas desenvolvidas pelos grandes nomes da ciência e o que estava acontecendo ao redor deles? Um estudo apropriado da história da ciência nos permitirá compreender os vínculos entre ciência e sociedade. (MARTINS, 2006).

Diante de um contínuo processo de transição da ciência, faz-se necessário que as áreas divergentes se unam para possibilitar uma visão ampla sobre nossa sociedade. O objetivo deste trabalho é permitir que aqueles que são atraídos pela poesia percebam que a física também tem dimensões que a aproximam da arte, fazer uma ligação interdisciplinar entre Arte e Ciência, buscar o enriquecimento, abrindo um vasto campo de colaborações interdisciplinares de forma que o pensamento científico possa ir além, assumindo uma postura sem preconceitos e valorizando o conhecimento em sua totalidade. (LUCISANO; NEVES, 2010).

É muito comum ao se ler sobre ciência em livros que não se preocupam com a contextualização histórica ter a impressão de que a ciência é feita de forma mágica, perfeitamente cronológica, e que os cientistas são grandes gênios isentos de cometerem erros, porém, um trabalho interdisciplinar que traz o contexto histórico como peça fundamental na construção do conhecimento da ciência busca quebrar esses dogmas. (BASSALO, 1992). "Alijar a ciência de seu processo histórico, de suas contingências, e de suas representações é condená-la a um destino que se assemelha mais à religião" (NEVES, 1998).

Investigar nas obras originais é um passo a ser seguido para uma boa pesquisa a respeito dos assuntos que se quer estudar. (MARTINS, 2001). Buscar-se-á nos escritos deixados por Leonardo da Vinci, elucidar suas ideias acerca do voo. Desde pequeno, Leonardo era deslumbrado por encontrar um jeito de voar. Nutria grande afeição por pássaros, e durante toda a vida os observou e desenhou obsessivamente. A partir daí, da Vinci começou a estabelecer seus princípios da aerodinâmica, e graças aos seus escritos podemos imaginar o que se passava em sua mente - cerca de seis mil páginas, dispersas em uma variedade de códigos, divididas de forma muito diferente do que fora originalmente organizado. (ASOINALL; DUNN, 2005).

O principal objetivo deste trabalho é elaborar um estudo sobre a obra DaVinciana acerca do voo, para desenvolver um resgate histórico, unindo em um mesmo documento seus estudos e máquinas que poderá ser usado para introduzir tópicos interdisciplinares de arteciência no ensino de Física, e entender as falhas e os êxitos de cada um de seus esboços.

Pretende-se fazer um compilado de seus inúmeros projetos de máquinas voadoras e seus vastos estudos a respeito do voo dos pássaros que estão espalhados por vários de seus Códigos. O Código de Voo, um dos objetos de nosso estudo, engloba principalmente os escritos, desenhos e estudos do artista com relação ao voo dos pássaros. O Código Atlântico é uma obra mais ampla e de grande heterogeneidade, mas também é onde se encontra uma grande parte dos seus esboços de máquinas voadoras. *Paris Manuscript B*, um dos mais antigos manuscritos de Leonardo. Nele pode-se encontrar desenhos e anotações referentes a uma diversidade de assuntos, e é neste manuscrito que se encontra uma de suas máquinas mais famosas, que ficou conhecida como antecessor do helicóptero. (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016).

2. CONTEXTO HISTÓRICO

2.1 Renascimento

Entre os séculos XIV e XVI a Europa vivenciou um período de muitas transformações no campo das técnicas, das artes, da política e do próprio conhecimento que o homem tinha do mundo e de si mesmo. Um crescente número de acadêmicos, escritores e artistas na Itália e em outros lugares, começaram a usar o retrato da renovação para assinalar uma nova era, uma era de regeneração, renascimento em direção à luz, após uma fase que ficou conhecida pelo nome de "Idade das Trevas", e Renascimento foi o termo empregue para caracterizar toda essa época cultural, para definir esse momento de intensas mudanças como um despertar. Os renascentistas buscavam no reavivamento da cultura da antiguidade clássica greco-romana os ideais para sua época, pois acreditavam que a antiguidade havia representado o auge da história da civilização ocidental. (BURKE, 2008).

Disputas militares constituíram um dos impulsos para os projetos técnicos, mas além da guerra, outro fator que impulsionava invenções e projetos era a vontade do homem de dominar a natureza e o mundo ainda desconhecido, exercitando a observação do universo e a razão. Esse interesse do homem renascentista pôde se desenvolver devido à invenção da imprensa, que permitiu a divulgação dos autores antigos, de novos saberes, e de descobertas de novos lugares e sistemas de vidas não conhecidos antes da navegação pelos oceanos, possibilitando então a expansão europeia para as Américas e para o Extremo Oriente. A principal característica do renascimento foi a sua busca por compreender a humanidade como um todo. Essa preocupação orientou o desenvolvimento das ciências, da política, das artes e até da religião, que passaram a colocar o ser humano no centro de suas pesquisas — por isso, a ideologia aflorada no centro do movimento era chamada de humanista. (VAN ACKER, 1992).

Percebe-se a pretensão dos humanistas em dinamizar o currículo científico das universidades medievais com o acréscimo de outras áreas do conhecimento como a poesia, a filosofia, a história, a matemática e a eloquência, baseadas nos modelos da antiguidade clássica – o que num primeiro momento fora condenado pela igreja, que interpretou essa retomada como saudosista ao paganismo. (SEVCENKO, 1985).

A disseminação do humanismo da Itália para todo o continente europeu aconteceu devido a vários fatores, sendo a autonomia financeira a mais relevante. Esse fenômeno é

facilmente compreensível, uma vez que a prosperidade comercial é que permitia a constituição de ricos núcleos urbanos e cortes sofisticadas o suficiente para se transformarem em público consumidor de uma produção artístico-intelectual voltada à mudança dos valores medievais. (SEVCENKO, 1985).

As conquistas marítimas e o contato mercantil com a Ásia ampliaram o comércio e a diversificação dos produtos de consumo na Europa a partir do século XV. Com o aumento do comércio, principalmente com o Oriente, muitos comerciantes europeus enriqueceram, e com isso dispunham de condições financeiras para investir na produção artística. (BURKE, 1999).

Os governantes europeus e o clero passaram a dar proteção e ajuda financeira aos artistas e intelectuais da época. Essa ajuda, conhecida como mecenato, tinha por objetivo fazer com que esses mecenas (governantes e burgueses) se tornassem mais populares nas regiões onde atuavam. (BURKE, 1999).

Foi na península Itálica que o comércio mais se desenvolveu nesse período. Sua geografia encorajava os italianos a dedicarem ao comércio e à indústria mais atenção que os países vizinhos. A localização central da Itália na Europa e o fácil acesso ao mar permitiam que seus comerciantes se transformassem em intermediários entre o Oriente e o Ocidente. Esse desenvolvimento deu origem a uma grande quantidade de locais de produção artística. Por esse motivo, a Itália ficou conhecida como berço do renascimento. (BURKE, 1999).

No plano religioso, a igreja foi perdendo a importância que tinha. Houve fortes reações contra a interferência da religião nos assuntos humanos, deixando de ser vista como aquela que detinha uma resposta para todos os problemas da vida e da sociedade. (VAN ACKER, 1992). Com suas estruturas ideológicas abaladas, a Igreja Católica perdeu muito de seu poder político e também de seu prestígio mesmo no meio religioso, uma vez que novas interpretações, principalmente humanistas, passaram a surgir a respeito da religião. (SEVCENKO, 1985).

Esse cenário de disputas políticas foi parte indispensável nas transformações de um modo de vida típico da Idade Média, na qual havia dominado o respeito a uma ordem social e política preservada pela igreja e pelos senhores feudais, e o consequente surgimento de uma nova ordem, a burguesa, na qual os estados e os indivíduos defendiam a liberdade, possibilitando assim uma nova maneira de viver. (VAN ACKER, 1992). A nova camada

burguesa, pretendendo se impor socialmente, precisava combater a cultura medieval, na qual ela só aparecia como uma porção sem importância da população. (SEVCENKO, 1985).

A arte renascentista preocupava-se acima de tudo com a harmonia do todo, com a proporcionalidade, com o volume realista obtido entre os jogos de luz e sombra e a coerente ocupação do espaço pictórico:

Ela acompanha paralelamente as conquistas da física, da matemática, da geometria, da anatomia, da engenharia e da filosofia. Basta lembrar a invenção da perspectiva matemática por Brunelleschi, os seus instrumentos mecânicos e de construção civil ou militar, ou os instrumentos de engenharia inventados por Leonardo da Vinci, ou as pesquisas anatômicas de Michelangelo, o aperfeiçoamento das tintas a óleo pelos irmãos Van Eyck, ou os estudos geométricos de Albrecht Dürer, entre tantos outros (SEVCENKO, 1985, p. 25).

A invenção da perspectiva matemática ou "perspectiva exata", em que obedecem a uma norma única de projeção, deveu-se, com uma grande dose de certeza, a Felipo Brunelleschi (1377, 1446), um arquiteto florentino. Baseando-se no teorema de Euclides (300 A.C.), estabeleceu uma relação proporcional entre objeto e sua representação pictórica. O domínio dessa técnica levou a arte a status de ciência. O artista/cientista era senhor do domínio da técnica, conciliando em seu ofício, estética e cálculo, o que conferia alto valor econômico, acessível apenas ao clero, à nobreza e à burguesia, esta última ávida em afirmar ante as cortes reais e ao papado seu poderio financeiro. (SEVCENKO, 1985).

Ainda que o conhecimento fosse um privilégio, nessa época apareceram várias invenções, algumas chegaram a ser construídas e outras foram apenas idealizadas, pois não havia ainda condições técnicas para sua realização. Entre estes últimos casos estão alguns de Leonardo da Vinci, como a máquina de voar. (VAN ACKER, 1992).

O Renascimento traz a expectativa de renovação, de uma modernidade que, apesar de ser impulsionada pelo avanço científico-tecnológico, estrutura-se em princípios ainda muito enraizados no inconsciente coletivo. (GIOVANAZZI, 2014).

As novas ideias e as novas atitudes diante do mundo e os novos espaços conquistados nesse período foram fundamentais para o advento do mundo contemporâneo, que perdeu muito do que ainda havia de medieval nesse período, conservando e acentuando a importância da razão e das experiências que deram origem a um grande desenvolvimento científico nos séculos XVIII e XIX. (VAN ACKER, 1992).

Ao longo dos séculos posteriores ao renascimento, os valores por ele empreendidos vigoraram ainda por diversos campos da arte, da cultura e da ciência.

2.2 Leonardo da Vinci

Considerado a primeira mente moderna da história, Leonardo da Vinci, nasceu em 15 de abril 1452 em Anchiano, aldeia próxima à cidade de Vinci, na Toscânia Italiana (CHAUVEAU, 2012).

Filho ilegítimo de Piero da Vinci, Leonardo não teve acesso à educação formal, sendo impedido de estudar grego e latim. Porém, Leonardo costumava dizer que somente por meio da observação era possível descobrir a verdade, e que havia a possibilidade de os gregos e romanos terem errado algumas de suas concepções. E então, cabia a ele começar do zero (CHAUVEAU, 2012).

Sua infância na casa do avô, em companhia da avó Lucia e do tio Francesco, foi explorando os campos ao redor de Vinci. Era muito curioso sobre a natureza, examinava e estudava tudo. (CHAUVEAU, 2012).

A infância despreocupada de Leonardo terminou em 1460, quando seu pai o levou para Florença. Era uma das maiores cidades da Europa, o coração do Renascimento. O pai de Leonardo o trouxera a Florença para que ele encontrasse trabalho. Por ser ilegítimo, não podia se tornar advogado ou médico, então a esperança de seu pai era que ele se tornasse um artista. Sendo assim, arranjou para que se fosse aprendiz de Andrea del Verrochio, um importante escultor e artesão. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Leonardo cresceu no ateliê, e aos vinte e poucos anos teve sua grande chance: Verrochio recebeu uma notável encomenda, uma pintura que retratasse o batismo de Cristo. O artesão então pintou os personagens principais e deixou os outros para seus assistentes. Leonardo ficou com a figura de um anjo no canto esquerdo – o método tradicional de pintura da época era Têmpera, quase todas as pinturas eram feitas por esse processo, que é muito simples, trata-se de misturar o pigmento em um ovo caipira. Porém a Têmpera seca muito rápido e por isso é difícil de trabalhar, o resultado poderia ficar bastante ruim. – Leonardo então escolheu pintar sua figura à óleo, uma decisão arriscada para o jovem na época, mas que se mostrou produtiva – pode-se realmente ver a genialidade de Leonardo na face do anjo. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Quando sua carreira estava progredindo, Da Vinci se viu envolvido em um escândalo sexual, que poderia colocar sua vida em risco. Pela cidade de Florença, podiam ser encontradas as chamadas "Bocca di Verità", locais nos quais aqueles que desejam fazer denúncias anônimas as colocavam ali. Assim, em abril de 1476 uma acusação de sodomia envolveu o nome do cientista, crime grave para a época, pautável de pena de morte. Por sorte, um dos amigos envolvidos no escândalo era nobre, então foram absolvidos, porém deixou marcas profundas em Leonardo, que se tornou extremamente desconfiado e reservado após esse episódio. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Partiu de Florença em 1482 para outra grande cidade, Milão, cujo governante, Ludovico Sforza, era um dos mais temíveis tiranos de toda Itália, e, como a maioria dos governantes da Renascença, o que mais lhe interessava eram as máquinas bélicas. Conseguiu o trabalho, não como engenheiro militar, mas fora encarregado de vários serviços, inclusive de organizar as festas de Sforza. Criava elaborados figurinos. Recebeu um salário extremamente baixo para projetar o esgoto da duquesa e instalar uma espécie de aquecedor central. Porém, em Milão, Leonardo trabalhou também para si, fazendo descobertas numa extraordinária variedade de áreas, tais como artes, engenharia, geologia, geografia, anatomia, fisiologia entre outras. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Após pintar "A Última Ceia" (1498) – pintura que aumentara sua reputação como um dos maiores artistas da época – no momento que parecia ser seu maior trunfo, os franceses invadiram Milão, e seu mecenas, Ludovico, foi feito prisioneiro. Leonardo teve de partir de Milão atrás de trabalho e dinheiro, decidiu então ir rumo a Veneza. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Em 1500, Veneza era uma das cidades mais ricas do mundo. Sua vasta riqueza vinha do comércio, pois situava-se bem no meio da mais movimentada rota comercial do mundo. Sua prosperidade, contudo, atraía também inimigos, como os turcos. Quando Leonardo chegou à cidade, a frota turca estava à espreita perto do porto de Veneza. Aquela ameaça iminente de uma invasão pareceu a Leonardo uma ótima oportunidade de conseguir um comprador para uma arma bastante incomum. Então ele se apresentou ao conselho de Veneza, não como pintor, mas como inventor. Porém, para seu infortúnio, atacada em outra parte de seu império, a tropa turca bateu em retirada sem combate algum, e os venezianos mandaram Leonardo embora, sem o pagamento de um único ducado. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Mas Leonardo não desistiu e continuou inventando. A necessidade de ganhar a vida fazia com que ele tivesse de lidar com gente bastante perversa. Assim, no ano de 1502 o destino o leva à porta de um dos tiranos mais brutais e sedentos de sangue da história. Nessa época, os governantes italianos eram capazes de muita coisa por poder, mas havia um homem cuja perversidade e extraordinária astúcia militar todos temiam: Cesare Borgia; fraticida, estuprou a irmã e frequentemente envenenava seus convidados para o jantar. Borgia tornou Leonardo seu engenheiro chefe, dando-lhe um poder inédito e sua proteção. (ASOINALL; DUNN, 2005). Passou quase um ano a viajar com Cesare pela Itália Central, elaborando levantamentos topográficos, e estudos relacionados com a estratégia militar. Conheceu o político Nicolau Maquiavel, que também trabalhava para os Borgias. No fim de 1502, incomodado com a truculência dessa família, Leonardo deixou sua companhia, para, algum tempo depois, ocupar o cargo de engenheiro militar da cidade de Florença. (CHAUVEAU, 2012).

De volta a Florença começou a pintar uma dona de casa – Lisa del Giaconda – a pintura que levaria dez anos para ficar pronta, e acabaria afinal se tornando a mais famosa do mundo: A "Mona Lisa". A principal causa para ter levado tanto tempo foi Leonardo ter continuado, como sempre, com uma variedade de obsessões, incluindo a maior da sua vida: o voo. Projetou diversas máquinas para voar, incluindo o Ornitóptero, uma máquina movida por um homem batendo asas como um pássaro. Poderiam essas máquinas de fato funcionarem? Há indícios de que uma das ideias de Leonardo inspirou Igor Sikorsky a projetar o helicóptero. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Nos primeiros anos do século XVI, contudo, a carreira de Leonardo não estava exatamente decolando. Obteve algum sucesso com o desenho da virgem e seu filho com Santa Ana, que veio a se tornar uma bela pintura. Continuava trabalhando obsessivamente na Mona Lisa, levando-a consigo aonde quer que fosse. Na década seguinte, estudaria anatomia, geologia, botânica, medicina e geometria. Aliou seu deslumbramento pela anatomia com sua afeição por mecânica para criar o primeiro robô humanoide – alguns robôs utilizados hoje pela NASA são diretamente inspirados nos desenhos feitos por Leonardo há 500 anos. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Em 1513 fora convocado para ir a Roma trabalhar para um novo papa, Leão X. Entretanto, o convite não veio do papa, mas de seu irmão, já que o papa não tinha uma boa impressão de Leonardo (pois acreditava que o artista nunca terminava o que começava)., e ao que tudo indica, os assistentes que recebera eram espiões. — Leonardo foi acusado de

feitiçaria e necromancia por conta de seus estudos em anatomia. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Infelizmente, muito de sua obra jamais fora publicado. Seus Códigos ficaram desconhecidos por muito tempo, enquanto o resto do mundo redescobria boa parte do que Leonardo já havia feito em suas pesquisas. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Ao sair de Roma, Leonardo levou Mona Lisa, obra que o acompanharia até os últimos dias de sua vida, esses, vividos na França, no Castelo de Cloux, dado a ele pelo então rei, onde veio a falecer em 1519. (CHAUVEAU, 2012). E depois do mundo todo tê-lo esquecido, seria a Mona Lisa que faria com que fosse redescoberto.

3. O SONHO DE VOAR

Voar talvez tenha sido um dos mais antigos sonhos que o homem já teve, provavelmente desde o momento em que algum pré-histórico passou a observar o voo de pássaros e outros animais voadores. Durante muito tempo voar foi considerado um dom concedido pelos deuses, e por isso acreditava-se ser impossível de realizar, que estava além da capacidade humana. (MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE URBANO, 2016).

Muitos séculos se passaram até que esse devaneio pudesse começar a se materializar na forma de instrumentos, que pudessem evoluir rumo à concretização dessa conquista, entretanto, diversas especulações e ideias começaram a surgir. Há inúmeros registros de tentativas malsucedidas de voo ao longo da história. (MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE URBANO, 2016).

Uma das primeiras pessoas a conceber as ideias para ferramentas destinadas a levar o homem aos céus foi Leonardo da Vinci. Seu fascínio por pássaros o levou a uma das maiores obsessões de sua vida: construir uma máquina que permitisse ao homem voar. O assunto o fascinava a tal ponto que chegara a desenvolver diversos protótipos de máquinas voadoras em pleno século XVI. A mais conhecida de suas máquinas voadoras é chamada Ornitóptero, cujo princípio consiste em um homem batendo asas, o que parece uma ideia bastante excêntrica, porém, existem alguns projetos que poderiam de fato funcionar. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Os desenhos criados por ele, que nunca saíram do papel, a maioria é proveniente de suas observações dos pássaros, as quais lhe renderam um detalhado estudo e planos para várias máquinas voadoras, dentre elas a que teria inspirado o invento do helicóptero e um planador. Também projetou uma fantástica aeronave com asas de morcego que poderia ser dirigida por uma única pessoa, de dentro de uma pequena cabine (JAKAB, 2013-a).

Até o século XIX, Leonardo da Vinci era conhecido apenas como um pintor. Pouco ou nada de suas obras de escultura ou engenharia sobreviveu, e os seus cadernos, as provas únicas sobreviventes de sua insaciável curiosidade e mente fértil em matéria de ciência e tecnologia, foram por muito tempo escondidos, dispersos em mãos privadas. Foi só depois de 1800 que os registros de suas realizações intelectuais e técnicas, as milhares de páginas de escritos e desenhos que nos referimos coletivamente hoje como Códigos de Leonardo, começaram a surgir, serem estudados e publicados. Com a redescoberta dos Códigos, o

artista que pintou a Mona Lisa e A Última Ceia, foi concebido como o visionário da Renascença que viu o mundo moderno antes de ter sido realizado. (JAKAB, 2013-b).

Entre os muitos assuntos estudados por Leonardo, a possibilidade de voo mecânico humano lhe exercia um particular fascínio. Ele produziu cerca de quinhentos esboços sobre máquinas voadoras, a natureza do ar e o voo dos pássaros. Esses estudos estão espalhados por diversos de seus Códigos e coleções de manuscritos, mas ele produziu um pequeno Código quase inteiramente sobre o assunto em 1505-1506, o *Codice Sul Volo Degli Uccelli* (Código sobre o Voo dos Pássaros). (JAKAB, 2013-b).

O código de voo, um dos objetos de nosso estudo, engloba principalmente os escritos, desenhos e estudos do artista acerca do voo dos pássaros. É um dos manuscritos mais completos e orgânicos de toda a obra de Leonardo. Redigido em torno do ano de 1505, constitui um estudo metódico sobre voo. Suas folhas reúnem diferentes linhas de pensamento: das análises puramente teóricas e experimentais à observação de pássaros voando. Seus desenhos, projetos e inúmeros textos têm como objetivo a realização de um grande sonho: o projeto da máquina voadora, sempre presente na mente de Leonardo, que escreve também as instruções e indicações necessárias à construção e pilotagem de tais equipamentos. (JAKAB, 2013-b).

A maioria dos projetos aeronáuticos de Leonardo foram ornitópteros (máquinas que consistiam em bater asas para gerar propulsão). Ele esboçou essas máquinas voadoras com o piloto de bruços, na vertical, utilizando os braços, usando pernas... Desenhou também esboços detalhados de mecanismos para acionar o bater de asas (JAKAB, 2013-b).

Curiosamente, a maioria destes projetos imitando aves antecedeu seu autêntico estudo do voo dos pássaros. No Paris Manuscript B (preservado no Institut de France, em Paris), um de seus mais antigos cadernos, há alguns desses projetos mais primitivos. (MUSEO NAZIONALLE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-a). Também foram encontrados vários desses projetos no Código Atlântico (mantido na biblioteca Ambrosiana de Milão), este que é uma ampla coleção de bastante heterogeneidade, que contém os mais variados estudos como, por exemplo, botânica, astronomia e zoologia. Porém, é no Código de Voo – trabalho produzido no mesmo período em que a Mona Lisa fora pintada – onde se pode encontrar algumas das ideias e observações de Leonardo sobre o voo que seriam mais visionários que seus ornitópteros mais conhecidos. (JAKAB, 2013-b).

Em seus Códigos, Leonardo discute o conceito fundamental da relação entre o centro de gravidade e o centro de pressão de elevação na asa de um pássaro; explica o comportamento das aves; demonstra uma compreensão rudimentar da relação entre uma seção da asa curvada e a ascensão; adere o conceito de ar como um fluido – um fundamento atual da ciência da aerodinâmica. Comenta sobre a posição do piloto em uma potencial máquina voadora e como o controle pode ser conseguido deslocando o peso do corpo, precisamente como os pioneiros do planador do final do século XIX fariam; observa a importância de estruturas leves que as aeronaves exigiriam... Ele até sugere a força que Newton viria a definir como a gravidade. (JAKAB, 2013-b).

Em menos de vinte fólios de anotações e desenhos, o Código sobre o Voo dos Pássaros apresenta uma série de observações e conceitos iniciais que certamente iriam encontrar um lugar no desenvolvimento de um avião bem-sucedido no início do século XX. Leonardo nunca parou de criar designs de máquinas voadoras, e também não os desenvolveu em qualquer forma prática. No entanto, séculos antes de qualquer progresso real em direção a um método de voar ser sequer rascunhado, as sementes das ideias já germinavam na mente de Da Vinci. Na aeronáutica, como em muitos dos assuntos que estudou, ele caminhou onde ninguém havia caminhado antes. É um grande pioneiro, que em harmonia com o espírito renascentista, deu os primeiros passos para a criação de uma abordagem lógica do dilema, ou seja, ele teve a primeira iniciativa na transformação desse sonho em realidade. (JAKAB, 2013-b).

3.1 Estudos sobre o Voo

Em seus Códigos também são encontrados diversos estudos muito completos a respeito do voo e anatomia dos pássaros, e também conceitos que foram redescobertos atualmente.

Código Atlântico

Homem em voo:

No Fólio 166v (VINCI, Código Atlântico *apud* LEONARDO3, 2007) há reflexões sobre o conceito de força. Leonardo desenhou um homem usando asas flexíveis, e também fez um desenho simétrico mostrando as posições mínima e máxima das asas.

Estudos sobre o voo, nado e navegação:

Leonardo dá uma descrição detalhada do voo dos pássaros, sua estabilidade e mobilidade no ar. Ao que parece, trabalhou para criar uma única teoria de movimento em fluidos que governam o voo, o nado e a navegação. (Fólio 571f, VINCI, Código Atlântico *apud* LEONARDO3, 2007).

Estudos sobre o voo dos pássaros:

Na parte de cima do Fólio 571v (VINCI, Código Atlântico *apud* LEONARDO3, 2007) Leonardo continua seu estudo sobre o voo. Cada descrição acompanha um diagrama ilustrando a posição e trajetórias relevantes de voo.

Leonardo observa, analisa e descreve o voo planado dos pássaros, com suas asas quase estáticas, tomando vantagem das correntes de ar. Quando o vento é "leve", os pássaros fazem uma trajetória circular mais ampla, e quando o vento é mais forte, o movimento é mais circular. Também diz que quando em voo planado, os pássaros não batem as asas. Eles mantêm o equilíbrio através do movimento de suas caudas e fechando suas asas. (Fólio 845f, VINCI, Código Atlântico *apud* LEONARDO3, 2007).

No Fólio 845v (VINCI, Código Atlântico *apud* LEONARDO3, 2007), Leonardo propõem que pássaros que voam mais alto são mais estáveis, a altitude garante maior segurança. O centro de gravidade dos pássaros é localizado em seu peito, conforme mostra Leonardo no desenho na parte superior do fólio.

Gravidade:

O Fólio 663v (VINCI, Código Atlântico *apud* LEONARDO3, 2007) fala sobre gravidade e como a combinação dos quatro elementos deve ser arranjada, de acordo com a

teoria aristotélica. Para Leonardo, os dois mais pesados, água e terra, se estabelecem concentricamente em torno do ponto mais baixo do universo (que antes de Copérnico, correspondia ao centro da Terra). Os outros dois, ar e fogo, eram os mais leves e, segundo ele, iam parar no ponto mais alto do mundo sublunar, próximo à Lua.

Código de Voo

Encontra-se ao longo do Código de Voo diversos estudos sobre o voo e anatomia dos pássaros provenientes das observações que da Vinci fazia. (AIR AND SPACE, 2016). Leonardo analisa a função do ar, as diferenças de pressão, os ganhos e percas de velocidade durante o voo, a mudança da trajetória devido ao vento ou ao movimento da ave. (OLIVEIRA, 2016).

Durante seus estudos sobre o voo, da Vinci formulou algumas hipóteses sobre os fluidos (FREIRE, 2012). Para ele, o ar era um fluido que deveria ser considerado no estudo do voo, pois ele poderia garantir a sustentação do mesmo. "[...] presumiu que as propriedades básicas do fluxo eram as mesmas para todos os fluidos e confirmou isso com suas observações [...]" (CAPRA, 2012, p. 48). Seus estudos e desenhos dos padrões do fluxo dos fluidos são uma de suas maiores contribuições científicas, onde elaborou conceitos que só seriam discutidos novamente séculos mais tarde (CAPRA, 2012). Segundo Oliveira, "[...] é interessante a comparação que ele faz do voo com a natação, tratando o ar como um fluido a ser explorado para a sustentação da máquina" referindo-se ao trecho:

As asas e cauda de um pássaro tem as mesmas funções que os braços e as pernas de um nadador na água. Se um homem usa os braços para nadar no mesmo caminho em direção ao leste e continua à frente nesse sentido o movimento resultante será para o oriente. Mas se o braço do lado oeste faz um movimento mais longo do que no sul, então o movimento resultante será o norte-leste. E se o braço direito faz um movimento maior do que o braço esquerdo, o nadador irá se mover para o sul-leste (VINCI, Código de Voo, *apud* LEONARDO3, 2007, p. 10f).

Leonardo sugeriu a existência da força da gravidade, bem como estudou o centro de gravidade dos pássaros. "[...] Ele identifica dois pontos importantes nos pássaros: o centro de gravidade (o baricentro, A) e o centro de resistência das asas (B). Movendo o ponto de resistência das asas para a frente ou para trás em relação ao centro de gravidade, o pássaro muda sua estrutura para voar para cima ou para mergulhar para baixo" (OLIVEIRA, 2016).

referindo-se ao fólio 7v do Código de Voo. Também logo no início do Código encontramos trechos a respeito da gravidade e baricentro:

A força da gravidade ocorre quando um objeto está situado mais elevado do que o outro. A gravidade faz com que o objeto se mova ao longo de uma linha imaginária em direção ao centro do outro objeto, mas não por causa de sua própria iniciativa, nem porque é a questão central atrai-lo, mas porque o meio não pode oferecer resistência. (VINCI, Código de Voo, *apud* LEONARDO3, 2007, p. 2f).

O centro de gravidade de uma pirâmide com dois lados iguais está no terceiro ponto ao longo da bissetriz vertical (a linha que divide o ângulo em duas partes iguais). (VINCI, Código de Voo, *apud* LEONARDO3, 2007, p. 2f).

Se você quiser encontrar o centro de gravidade exato de um semicírculo, dividi-lo em triângulos suficientes para fazer a base parecer quase uma linha reta, em seguida, seguir o método acima referido, e você vai encontrar a posição do centro de massa quase perfeitamente (VINCI, Código de Voo, *apud* LEONARDO3, 2007, p. 2f).

A pretensão de Leonardo sempre foi construir uma máquina que possibilitasse ao homem voar imitando os movimentos de um pássaro, por isso observava cuidadosamente o comportamento das aves. Em seu Código do Voo, identifica a diferença na anatomia de animais voadores, como pássaros e morcegos:

[...] Diferente do pássaro, a asa do morcego é constituída por uma membrana contínua que garante uma ótima sustentação no ar, as penas e a asa do pássaro são perfuradas e deixam passar parte do fluxo de ar [...] (VINCI, 2007, p. 15f, grifo e tradução: Mayara Oliveira).

Leonardo também pontua a diferença entre voo batido e voo planado. No fólio 5v observa como os pássaros são livres no ar, sem precisar bater as asas, desfrutando das correntes de vento, e apenas quando necessário batem as asas energicamente para recuperar velocidade. Em 10f observa como o pássaro explora a corrente ascendente e o vento. No fólio 18f descreve com três esboços e explicações textuais a dinâmica da batida da asa de um pássaro. (OLIVEIRA, 2016).

[...] Segundo Leonardo as correntes de vento são a base do voo planado dos pássaros, e que, na maior parte do tempo, a medida que ganham altitude não batem as asas. [...] Os pássaros quando estão no interior da corrente sobem em uma trajetória circular. Ao final de cada círculo o pássaro se encontra em uma altura maior do que a anterior [...] (OLIVEIRA, 2016, p. 69).

Além de observar os diferentes tipos de voos dos pássaros, Leonardo também estudou sua anatomia e como esta favorecia o voo.

"A álula é constituída por um conjunto de penas colocadas no polegar, atrás do canto da asa do pássaro. Segundo Leonardo é uma parte de fundamental importância para a condução do voo. Quando na verdade o vento passa pela asa, esta deve ser capaz de cortar ou ficar de frente para o vento, mas, em ambos os casos, deve ter uma resistência e uma rapidez que assegure os movimentos [...]" (OLIVEIRA, 2016, p. 70).

A álula, conhecida como asa bastarda, é uma pequena asa, como se fosse o "dedo polegar" da "mão" da ave. Leonardo chegou a conclusões semelhantes em suas observações (OLIVEIRA, 2016).:

Aqui os grandes "dedos" nas asas são aqueles que permitem que a ave fique no ar através do vento; quando o vento sopra sobre um pássaro que se sustenta sem bater as asas e o pássaro não muda de lugar (VINCI, Código de Voo, *apud* LEONARDO3, 2007, p. 13f).

Depois de diversos estudos, Leonardo se deu conta de que seria pouco provável que o homem conseguisse voar de forma semelhante às aves, devido às limitações de sua anatomia. Então encontrou no voo planado uma possibilidade real, já que esse tipo de voo exige (muito) menos força na execução (CAPRA, 2008).

Da Vinci observou que os pássaros aproveitam as correntes de convecção para ganhar altitude durante o voo planado e conseguir percorrer grandes distâncias gastando menos energia: "[...] Segundo Leonardo as correntes de vento são a base do voo planado dos pássaros em voo, e que, na maior parte do tempo, a medida que ganham altitude não batem as asas [...]" (OLIVEIRA, 2016, p. 61). No fólio 5v Leonardo observa que os pássaros desfrutam das correntes de vento sem precisar bater as asas. Em 10v observa como o pássaro explora a corrente ascendente e o vento para voar predominantemente de uma forma circular. E em 14f que os pássaros quando estão no interior da corrente sobem em uma trajetória circular. Ao final de cada círculo o pássaro se encontra em uma altura maior do que a anterior (OLIVEIRA, 2016).

O Código de voo é uma obra espetacular. Nela, fica claro que Leonardo observo muito a natureza, e conseguiu elaborar um estudo completo acerca do voo dos pássaros e possibilidade do voo humano, apesar de toda a complexidade que o envolve.

3.2 As Máquinas e Instrumentos de Voo

Leonardo produziu diversos projetos de máquinas voadoras, que podem ser divididas em dispositivos de voo batido e dispositivos de voo planado. Sua ambição sempre fora construir uma máquina que possibilitasse ao homem bater asas como os pássaros, porém, frente a dificuldades com a anatomia humana, começou a desenvolver dispositivos de voo planado, a maioria deles bem-sucedidos, como será mostrado adiante.

3.2.1 DISPOSITIVOS DE VOO BATIDO

BICICLETA VOADORA E TANDEM VOADOR

Fólio 897r – Código Atlântico.

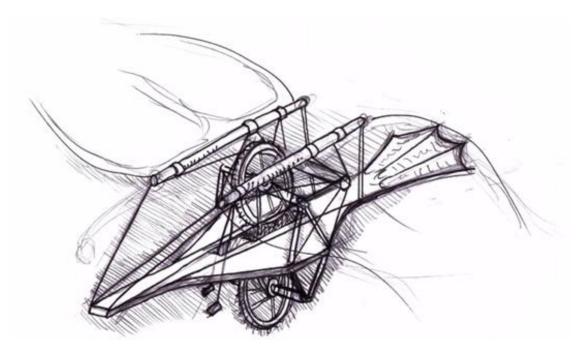


Figura 1:Esboço da Bicicleta Voadora Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

O folio 897 do Código Atlântico contém duas variantes do mesmo design. A bicicleta voadora é uma das variantes do "ornitóptero". Esta é uma máquina manuseada por apenas um piloto, a posição desse piloto muito se parece com a do ciclista moderno (embora as bicicletas ainda não existissem na época de Leonardo). Nesta versão, o piloto está posicionado sobre a placa secundária, enquanto que o sistema de propulsão é acionado quando o piloto pedala, como em uma bicicleta. Esta máquina voadora requer movimentos de mãos e pés, os quais movem as asas através de um sistema de transmissão de cordas, polias, acoplamentos e manivelas.

Este projeto também contém um detalhe extraordinário: observe a ferramenta posicionada sobre a cabeça do piloto, um inclinômetro, útil para o equilíbrio durante o voo (e, provavelmente, o primeiro na história!). (LEONARDO3, 2016-b).



Figura 2: Desenho realístico da Bicicleta Voadora Fonte: Leonardo3, 2016.

A outra variante contida no mesmo fólio da Bicicleta Voadora, é o Tandem Voador. (Outro veículo que não existia na época de Leonardo): duas pessoas são usadas para produzir mais energia para fazer o trabalho da máquina. Como no caso da "bicicleta voadora", O mover da roda faz com que as asas batam também neste modelo, já que o esforço exercido por apenas um piloto era tão intenso,que Leonardo intuiu a necessidade de dar a um dos pilotos um descanso de vez em quando.

Claramente seria impossível para qualquer um dos modelos desenhados neste fólio do Código Atlântico levantar voo, pois essas máquinas exigiriam um esforço sobre-humano, pois eram muito pesadas – um problema muito comum nas primeiras máquinas desenhadas por Leonardo (LEONARDO3, 2016-d).



Figura 3: Desenho realístico do Tandem Voador Fonte: Leonardo3, 2016.

ÁGUIA MECÂNICA

Fólios 73v, 74f-v, 75f – Manuscript B.

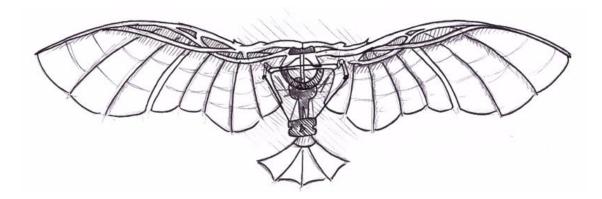


Figura 4: Esboço criado para a Águia Mecânica Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Este projeto mostra que Leonardo compreendeu que não seria possível cobrir a estrutura de uma asa artificial com um único pedaço de pano. Máquinas construídas desta forma apresentam um problema: quando as asas começam a bater, a resistência do ar pressiona a máquina para baixo. A solução para este problema pode ser encontrada através da observação do rei dos pássaros: a águia. Nas suas penas está o segredo para seu voo, por isso é preciso recriar suas características mecanicamente. (LEONARDO3, 2016-h).

Esta máquina - uma das mais complexas já projetadas - foi reconstruída pela primeira vez em 500 anos, pela equipe Leonardo3. Com um peso aproximado de 175 libras, um sistema de polias é usado para fazer as asas se dobrarem. As pequenas abas das asas imitam penas da águia, permitindo a passagem do ar na subida e fechando na descida da asa. Os movimentos da cabeça do piloto controlam a cauda através de uma faixa. (LEONARDO3, 2016-h).

No entanto, o que torna esta máquina impossível ser usada com sucesso é quantidade de energia necessária e não como ela funciona. Um ser humano não pode bater as asas suficientemente rápido para fazê-la funcionar. (LEONARDO3, 2016).



Figura 5: Desenho realístico da Águia Mecânica Fonte: Leonardo3, 2016

MÁQUINA DE VOO COM MOTOR LEAF-SPRING

Fólio 1007 – Código Atlântico.

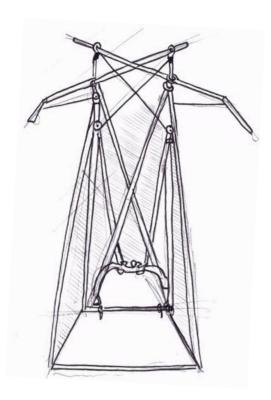


Figura 6: Esboço Leonardesco da Máquina com motor Leaf-Spring Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Esta máquina voadora foi projetada para ser conduzida pela potência mecânica produzida por uma *leaf-spring*¹ para controlar as asas. Este modelo é mais interessante, na medida em que atesta o fato de que Leonardo estava tentando encaixar esses mecanismos em uso para máquinas terrestres aos seus dispositivos de voo. Não apenas isso, o uso de uma *leaf-spring* no lugar da força humana mostra que Leonardo entendeu que a força humana sozinha dificilmente possibilitaria ao homem voar. (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-q)

O fólio, datado por volta de 1496, compreende desenhos sobre temas diferentes. Por ter desenvolvido uma ampla gama de interesses é que seus estudos sobre voo foram interrompidos e retornados várias vezes entre 1490 e 1496, período que inventou esta máquina voadora apelidada de "Avião Leonardesco". (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-c).

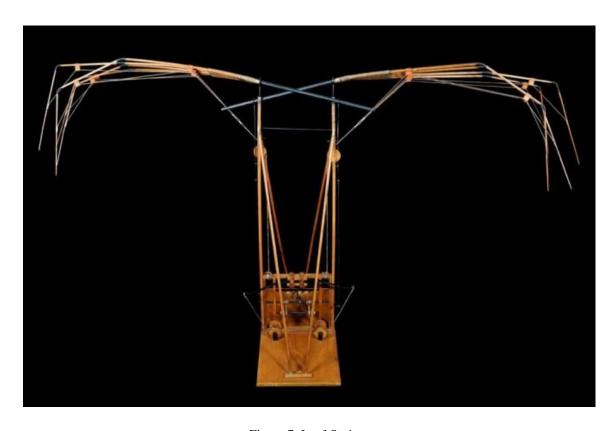


Figura 7: Leaf-Spring Fonte: Museo Nacionale della Scienza e della Tecnologia, 2016

-

¹ Leaf-Spring: Uma espécie de mola feita de um certo número de tiras de metal curvadas ligeiramente para cima e apertadas umas sobre as outras.

MAQUINA VOADORA DE MILÃO

Fólio 749 – Código Atlântico.

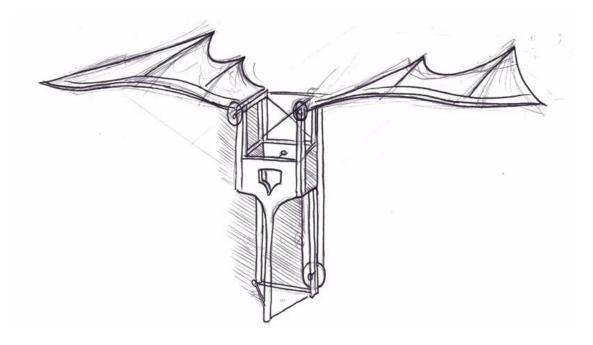


Figura 8: Esboço criado para a Máquina Voadora de Milão Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Entre as muitas máquinas voadoras desenhadas por Leonardo, algumas são, evidentemente, melhor projetadas do que outras, seus desenhos são meticulosamente detalhados com nada deixado ao acaso. Os detalhes dos diversos mecanismos também são cuidadosamente descritos no texto. Fica óbvio que Leonardo estava convencido de que uma máquina iria funcionar, pois há descrições claras dos materiais a serem utilizados na construção, as dimensões e a técnica de pilotagem (LEONARDO3, 2016-c).

Esse é o caso da máquina que Leonardo desenhou no fólio 749r do Código Atlântico. Neste fólio, datado entre 1496 e 1499, período em que Leonardo estava em Milão, é onde se encontra provavelmente a máquina que ele queria construir em segredo ao lado da catedral, no que é agora o Palazzo Reale ou Palácio Real. Este desenho pertence à primeira série de máquinas de Leonardo projetadas para voo mecânico. O destaque de tais máquinas é uma estrutura de asa, que é operada rapidamente pela ação combinada de mecanismos e da força humana. (LEONARDO3, 2016-c).

O piloto está posicionado na posição vertical dentro da cabine de madeira com o bater das asas acionadas com uso combinado de braços e pernas. Os pés são inseridos em dois estribos. Atrás do piloto há um complexo sistema de polias e alavancas que fazem as grandes

asas dobrarem para dentro, imitando o bater de asas de um pássaro. (LEONARDO3, 2016-c).

Leonardo havia se convencido então que a postura mais confortável e conveniente para voar em suas máquinas era a posição vertical, enquanto muitos de seus dispositivos voadores anteriores foram projetados para uma pessoa deitada de bruços. Neste ele até desenhou a máquina para que os pés do piloto pudessem tocar o chão, e que esse se sustentasse por meio de seus braços durante a decolagem e pouso. (LEONARDO3, 2016-c).



Figura 9: Desenho realístico da Máquina Voadora de Milão Fonte: Leonardo3, 2016



Figura 10: Modelo construído pela equipe Leonardo3 Fonte: Leonardo3, 2016

NAVIO VOADOR

Fólio 860 – Código Atlântico.

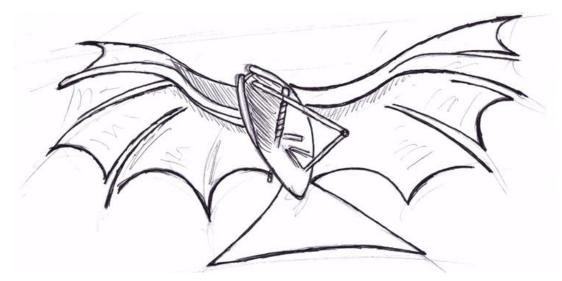


Figura 11: Esboço Leonardesco Navio Voador Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Esta é uma das máquinas voadoras mais imaginativas concebidas por Leonardo: um pequeno navio voador equipado com asas e leme. Os assentos dos passageiros estão localizados dentro de um vaso em forma de concha que também abriga todos os mecanismos, parafusos e manivelas que controlam as grandes asas de morcego. Um detalhe particularmente interessante é a ampla cauda, o que provavelmente é um ajuste para a posição de voo e a direção do próprio navio. Os dois desenhos deste fólio não têm notas explicativas e podem ser datados entre 1486 e 1490. As asas são operadas por meio de um dispositivo de parafuso e porca-parafuso, especificamente concebido para reduzir a tensão no guidão manobrado pelos dois homens que formam a tripulação do navio. (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-g/r).



Figura 12: Navio Voador Fonte: Museo Nacionale dela Scienza e della Tecnologia, 2016

ORNITÓPTERO HORIZONTAL

Fólio 824f, v – Código Atlântico.

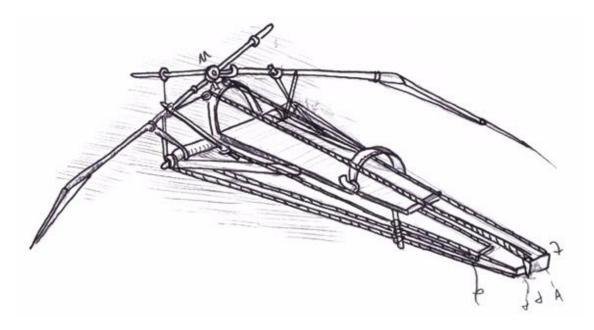


Figura 13: Esboço DaVinciano do Ornitóptero Horizontal Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

No fólio 824f, no canto superior direito estão os detalhes de uma máquina voadora. Esta estrutura inteligentemente articulada é a parte do lado esquerdo que é inserido num anel de suporte. A polia da esquerda serve para dobrar a ponta da asa direita. Embaixo, no centro, um desenho muito fraco de uma armadura em forma de asa de borboleta. Leonardo escreve que o pano deve ser puxado para baixo cobrindo os pés do homem que o veste. (VINCI, 1478-1518 *apud* LEONARDO3, 2007).

No verso, está desenhada a máquina de voo com seus componentes estruturais e peças de trabalho. As duas asas transversais no topo são operadas por cabos e polias. Comandos para mover a máquina são transmitidos através dos dois pedais posicionados abaixo e os vários projetos na parte inferior mostram diferentes formas de fixar as asas. (VINCI, 1478-1518 *apud* LEONARDO3, 2007).

A máquina voadora deveria funcionar da seguinte forma: o piloto ficaria sobre a prancha de madeira central, passando o pescoço e a cabeça pelo aro semicircular e as pernas pela faixa traseira. Uma vez em posição, o piloto poderia controlar todas as partes da máquina com as mãos e os pés. O controle com os pés implica em empurrar os dois pedais situados na parte traseira da máquina, um para abrir as asas e outro para fechar. As mãos do

piloto, por outro lado, poderiam agarrar a estrutura e garantir o suave manuseio das cordas, responsáveis por controlar as múltiplas escoras de madeira das asas. (DINGOX, 2016).



Figura 14: Desenho realístico do Ornitóptero Horizontal Fonte: Dingox, 2016.

ORNITÓPTERO VERTICAL

Fólio 80f – Manuscript B.

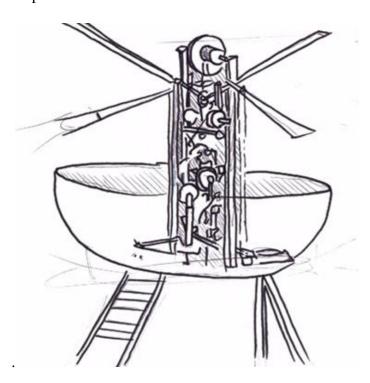


Figura 15: Esboço Leonardesco do Ornitóptero Vertical Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Leonardo, ao projetar o Ornitóptero Vertical, procura utilizar toda energia do homem, que deve acionar os mecanismos não somente com as mãos e os pés, mas também com a cabeça, a qual, como diz Leonardo, "fará uma força de 200 libras". O homem está em posição vertical no centro de um enorme poço (cerca de 12 metros de comprimento). Leonardo indica também as medidas: 12 metros do solo, com uma abertura de asa de 24 metros para uma amplitude de bater (de asas) de 4,8 metros. Dada as enormes dimensões, Leonardo acredita ser necessário o uso de duas tiras de couro em forma de cruz, em ritmo similar ao andar do cavalo" (TELEVIDEO, 2016). As escadas são retráteis e equipadas com amortecedores. (LEONARDO DA VINCI'S INVENTIONS, 2016).



Figura 16: Ornitóptero Vertical Fonte: Allposters, 2016

Ao que parece, Leonardo da Vinci inventou o primeiro sistema de pouso de engrenagem para uma aeronave. Obviamente, enquanto projetava suas máquinas voadoras deve ter percebido a regra simples - "o que sobe, tem que descer". O que lhe deu uma ideia de como pousar com segurança de volta ao solo: o mecanismo de pouso retrátil na parte inferior onde na máquina encontram-se as escadas retráteis. Essas escadas poderiam ser "liberadas" ou recolhidas por simples puxão de uma corda. (LEONARDO DA VINCI'S INVENTIONS, 2016).

GRANDE PÁSSARO

Fólios 11v, 16v, 17f, v – Código de Voo.

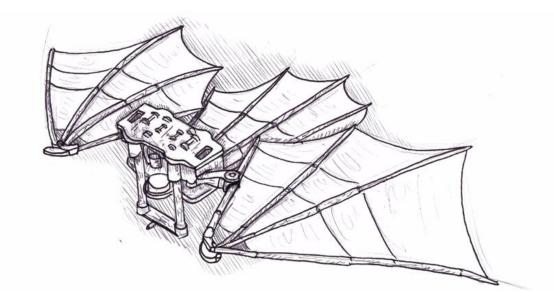


Figura 17: Esboço criado para a máquina Grande Pássaro Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Não existe uma visão completa de toda a máquina, no entanto, reunindo os detalhes, a equipe Leonardo3 pôde reconstruir o que deve ter sido o desenho completo. Os desenhos dessa máquina estão espalhados por diversas páginas do Código de Voo, e precisavam ser interpretados e colocados em relação uns aos outros: são encontrados nos fólios 5f, 12v, 16f, 17f e, mais importante, 17v (ver anexos 10 ao 16).

Ao analisar o caderno com cuidado, o centro de pesquisa Leonardo3 descobriu que o projeto para a "Máquina Voadora do Código de Voo" é descrito com extrema precisão: todo o caderno gira precisamente em torno da construção e utilização da máquina. Da Vinci também transmitiu algumas "lições de pilotagem" sobre como o piloto deve operar a máquina. As instruções de Da Vinci para a construção da máquina são extremamente precisas, chegou até mesmo a pontuar os materiais a serem utilizados, e não só isso, ele também informou quais evitar. (LEONARDO3, 2016-e).

O desenho do piloto dentro da cabine da máquina está no fólio 5f, juntamente com as instruções sobre a forma como ele deve posicionar-se: deve ficar livre da cintura para cima, a fim de ser capaz de se mover e contrabalancear a força do vento. O piloto usaria suas mãos e pés para ativar cordas e poderia girar, mover, abrir e fechar as asas com seus próprios movimentos. (LEONARDO3, 2016-e).

Leonardo sugeriu o uso de couro resistente para as articulações e de seda para as cordas. A tela pode ser de tafetá, uma seda muito espessa ou uma tela de linho que é engomado, assim todos os furos são selados, para evitar a passagem de ar através do tecido. Também no que diz respeito à lona que cobririam as asas, Da Vinci sugeriu, fazendo referência à membrana da asa de um morcego uma vez que, ao contrário das penas de aves, o ar não passa através dela:

Lembre-se que seu pássaro deve apenas copiar o morcego porque as membranas agem como uma estrutura, ligando as principais articulações das asas. Se você quisesse copiar as asas de aves de penas você tem que lembrar que eles têm fortes ossos e penas porque são permeáveis; as penas são divididas e o ar passa através delas. Por outro lado, o morcego é preso pelas membranas, as quais o conectam todo, e não são permeáveis. (VINCI, 1505, p. 7f *apud* LEONARDO3, 2007).

O "Grande Pássaro", descrito e desenhado no Código de Voo, é uma das máquinas voadoras mais complexos que Da Vinci projetou. É provável que ele nunca a tenha construído, mas acreditava profundamente em seu projeto e fervorosamente desejava testálo, lançando-o com um piloto, do topo de uma montanha. De fato, uma das frases mais famosas do Código de Voo, seria:

O grande pássaro vai fazer seu primeiro voo, iniciado a partir do pico do Monte Cícero e vai encher o universo com espanto e todos os relatos de sua grande fama irá conferir glória eterna sobre os lugares onde foi concebido. (VINCI, 1505 18v *apud* LEONARDO3, 2007).

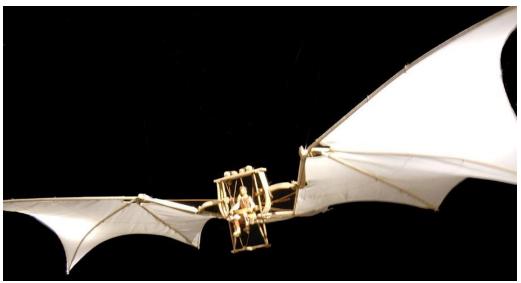


Figura 18: Grande Pássaro construída pela equipe Leonardo3 Fonte: Leonardo3, 2016

3.2.2 DISPOSITIVOS DE VOO PLANADO

PLANADOR COM ASAS MANOBRÁVEIS

Fólio 846v – Código Atlântico.

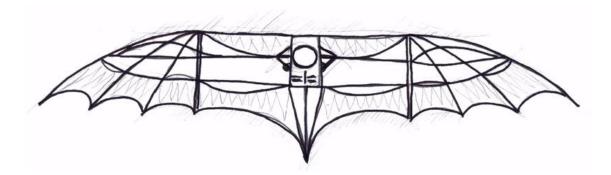


Figura 19: Esboço criado para o Planador com Asas Manobráveis Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

A força motriz foi o principal obstáculo que Leonardo encontrou, nenhum homem teria força suficiente para mover suas máquinas, a maioria das quais tendo asas batendo. Depois de observações detalhadas sobre o voo dos pássaros, Leonardo notou uma grande diferença: os pássaros de pequeno porte se sustentam no ar batendo as asas rapidamente, enquanto que os pássaros de médio-grande porte, como as aves de rapina, se aproveitam do voo planado. Este é um tipo de voo que não requer grande energia. Percebendo então as dificuldades em realizar o sonho de voar com máquinas movidas pelo homem, Leonardo começou a estudar o voo planado. (MUSEO NACIONALLE DELLA SCINEZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-k).

Neste planador, a posição do piloto é tal que lhe permite se equilibrar de forma adequada movimentando a parte inferior de seu corpo. As asas, como imitação de grandes asas de morcegos, são fixas em sua seção mais interna e móveis em sua seção externa (que pode ser flexionada pelo piloto por meio de cabos). Da Vinci assim as fez após observar que a parte interna das asas dos pássaros movem-se mais lentamente que a parte externa. A função disso é mais de sustentação do que de propulsão. (MUSEO NACIONALLE DELLA SCINEZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-p).

O fólio 846v do Código Atlântico contém três desenhos de asas articuladas, operadas por meio de cintos amarrados às pernas e ao corpo do piloto. Porém mais tarde, Leonardo reduziu a estrutura da asa à sua forma mais simples: acopladas diretamente ao corpo do piloto. (MUSEO NACIONALLE DELLA SCINEZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-k).



Figura 20: Planador com Asas Manobráveis Fonte: Evergreen Exibitions, 2016

PLANADOR SIMPLES

Fólio 64r, Madrid Manuscript I

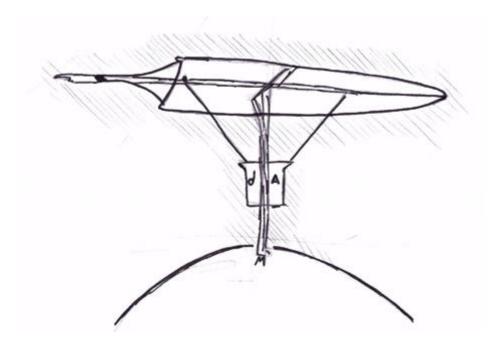


Figura 21: Esboço Leonardesco do Planador Simples Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Talvez o mais realizável de seus projetos, e o que parece ser o primeiro planador controlável do mundo. No desenho, os pés do piloto ficam em "m", e o corpo do piloto em "a, b". É evidente que Leonardo pensou sobre como o piloto poderia controlar o voo por meio de cabos. Porém, o que não fica claro no desenho é qual seria a frente e a traseira do planador. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Um documentário da BBC mostra o teste desse aparato: Simon Sanderson primeiramente construiu um modelo em escala 1:10, e os resultados de seu primeiro teste não foi nada animador. O planador então foi levado para ser testado no túnel de vento da Universidade de Liverpool.



Figura 22: Modelo em escala sendo testado no túnel de vento Fonte: BBC, 2005

Nos testes notou-se que a pressão era maior sob a asa do que sobre ela, o que formaria vórtices nas bordas do planador (como é mostrado na figura 22)., pois o fluxo do ar procura ir da maior para a menor pressão, um fenômeno que Leonardo (1492-1497, p. 64r *apud* BBC, 2005) parecia conhecer: "O pássaro sobe às alturas por meio de um movimento circular na forma de um parafuso" (ASOINALL; DUNN, 2005).

Por essas observações, Garth Patfield – engenheiro que fez os testes no túnel – concluiu que o aparato parecia relativamente seguro, Simon então construiu um modelo em tamanho real, em bambu, como sugerido por Leonardo.

A segunda surpresa preocupante foi o comportamento do planador ao ser carregado em cima de uma camioneta a apenas 25 km/h: o planador tendia a se inclinar para baixo, o que obviamente é perigoso, pois significa um mergulho vertical em direção ao solo. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Os testes do planador em uma colina também não foram animadores, o dispositivo era definitivamente instável, então Simon voltou a estudar o projeto e concluiu que uma cauda poderia resolver o problema.

Com o acréscimo da cauda, o planador funcionou perfeitamente, esta deu-lhe estabilidade, então o salto pôde ser realizado (figura 21) (ASOINALL; DUNN, 2005).



Figura 23: Planador construído e testado por Simon Sanderson. Fonte: BBC, 2005

MORCEGO MECÂNICO

Fólio 70r – Código Atlântico.

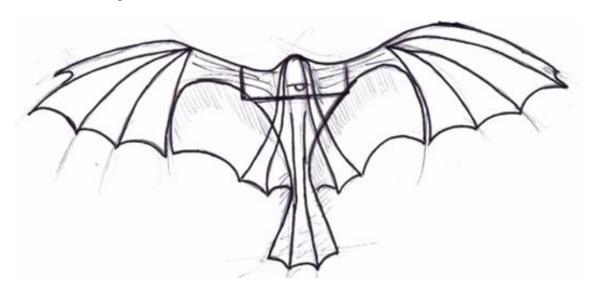


Figura 24: Esboço criado para o Morcego Mecânico Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

As asas desta máquina voadora compreendem duas seções, uma interna e outra externa. O piloto iria inserir a cabeça dentro do buraco central e colocar os pés sobre os

pedais inferiores. O piloto, cujos ombros seriam presos à máquina, iria bater as asas, empurrando os pedais com os pés, dobrando assim as asas para baixo. As hastes são ligadas a um sistema de roldanas, que permite que as pontas das asas se curvem. Todos estes movimentos cinéticos pretendem imitar aqueles de asas de um pássaro. Ao contrário de muitas outras máquinas de voo, parece que Leonardo entendeu que para este projeto a envergadura da asa precisava ser ampla, a fim de suportar o peso humano: quase 66 pés. O controle manual amarrado serve não só para virar, mas também para dobrar as quatro seções de pontas das asas, ao mesmo tempo.

A descoberta original feita pelo centro de investigação Leonardo3 levou à reconstrução de uma máquina voadora que se parece com um morcego, com proporções que, aproximam-se às de um planador moderno e um sistema mecânico complexo, mas eficiente. Se a máquina fosse usada como um planador, lançada de um declive, então talvez Leonardo conseguisse voar! (LEONARDO3, 2016-f).



Figura 25: Morcego Mecânico Fonte: The St Louise Gotist, 2016

PARAQUEDAS

Fólio 1058, Código Atlântico

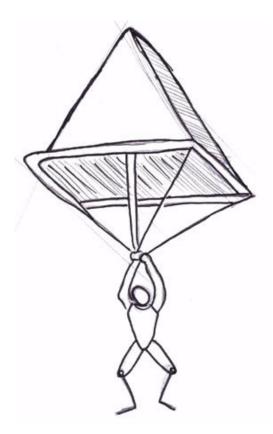


Figura 26: Esboço do Paraquedas DaVinciano Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Paraquedas é um dispositivo destinado a diminuir a velocidade de queda de pessoas ou objetos atirados de grande altura.

O fólio contém desenhos relacionados a estudos sobre voo mecânico, realizados entre 1483 e 1486. Na parte superior da folha, o princípio aerodinâmico da reciprocidade é enunciado pela primeira vez, juntamente com o projeto para a fabricação de paraquedas: ao aumentar a resistência ao ar, o objeto diminui a velocidade de queda de um corpo na atmosfera. (MUSEO NAZIONALLE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-f).

Em seus cadernos, Leonardo (1478-1518, p. 1058, *apud* ASOINALL; DUNN, 2005) descreve o paraquedas como: "uma tenda de linho com 12 jardas (aproximadamente 7 metros) de comprimento por 12 de altura".

No ano de 2000, o paraquedas de da Vinci foi testado pela primeira vez, por Adrian Nicholas. A equipe de Adrian construiu um protótipo baseado nos desenhos de Leonardo, e

tentou ser o mais fiel possível, usando apenas materiais tradicionais, como algodão e pinho para as hastes, materiais que certamente eram disponíveis na época de Leonardo. (ASOINALL; DUNN, 2005).

Durante a construção, duas coisas sobre o modelo de Leonardo preocupavam a equipe: o peso do paraquedas era aproximadamente o mesmo do paraquedista, e principalmente o fato de o modelo não possuir uma abertura na parte de cima para estabilizalo. Mas Adrian e sua equipe decidiram confiar em Leonardo e não adicionar o furo ao paraquedas.

Se um homem tiver uma tenda de 12 jardas de largura por 12 de altura, coberta de pano, poderá se jogar de qualquer altura sem se ferir (VINCI, 1478-1518, p. 1058, *apud* ASOINALL; DUNN, 2005).

Para realizar o teste, Adrian escolheu saltar de um balão a 3 mil metros de altura, em uma região remota da África, para diminuir os riscos de algo extremamente grave acontecer: felizmente o paraquedas funciona! A falta do furo não causou nenhum problema pois o material poroso se abre, deixando o ar passar. (ASOINALL; DUNN, 2005).



Figura 27: Paraquedas testado por Adrian Nicholas Fonte: BBC, 2005

É incrível como que, sem todos os mecanismos da física newtoniana e diversos instrumentos que usaríamos hoje, Leonardo chegou a um projeto que funciona perfeitamente. (...) nem mesmo uma oscilação. Senhor da Vinci, você cumpriu mesmo a promessa. Obrigado (NICHOLAS, *apud* BBC, 2005).

Ao que parece, Adrian precisou abandonar o paraquedas nos últimos metros de seu salto, isso porque o peso do equipamento poderia feri-lo na aterrissagem. Porém, pouco tempo depois, em 2004 um novo protótipo foi construído, dessa vez utilizando materiais modernos.

Oliver Vietti-Teppa fez o salto de um helicóptero e fez uma descida perfeita até o chão. Mas Vietti-Teppa disse que é impossível manobrar ou dirigir o paraquedas de Leonardo. "Você desce ao capricho do vento", disse Oliver. (TELEGRAPH, 2016).



Figura 28: Paraquedas produzido de materiais modernos testado por Oliver Fonte: The Telegraph, 2016

ESFERA VOADORA

Fólio 64f – Madrid Manuscript I

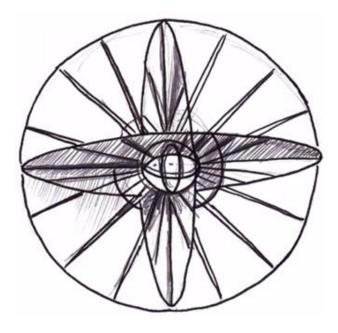


Figura 29: Esboço DaVinciano da Esfera Voadora Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

A Esfera Voadora é um dos projetos aeronáuticos menos conhecidos de Leonardo da Vinci, que veio à tona apenas quando o Código Madrid foi descoberto em 1966. No fólio, a descrição de Leonardo no antigo italiano é bastante difícil de ser traduzida:

Sia fatta una simile ventola, come qui è figurato, e sia composta di zendalo, corde, canne e aste, di diamitro 20 bracci o più. Nel mezzo della quale sia collocata una balla traforata, fatta di cierchi verdi, che sieno d'olmo. E sia detta balla con tali cierchi aconcia a uso di bussola di calamita, e nel mezzo d'essa balla stia un omo. E sia tale strumento collocato sopra uno monte, al vento, e tale strumento s'acompanierà col dorso de' venti, e ll'omo sempre starà in piedi ²(VINCI, 1492-1497, p. 64f *apud* PROCINO, et al. 2009).

O projeto é composto de três seções circulares planas (de 20 *braccias* (jardas), aproximadamente 18 metros de diâmetro), que se cruzam entre si. A intenção de Leonardo era de que a esfera fosse lançada de uma colina, para que pudesse ser levada com o vento. Uma pessoa estaria parada no centro do ofício, dentro de um giroscópio, de modo que ele

² Tradução: "Seja feito um ventilador similar, como está aqui representado, que seja composto de hastes, cordas, bambus e por um eixo de 20 braças ou mais de diâmetro. No meio seja colocada uma bala perfurada que acondicione uma bússola magnética, e no meio dela esteja um homem. E seja tal instrumento colocado sobre um monte, ao vento, e tal instrumento se farpa acompanhar ao dorso

dos ventos, e o homem sempre se manterá em pé".

_

pudesse sempre permanecer na posição vertical, independentemente do que aconteça à Esfera: "O ser humano ao centro do objeto voador gigante, está sempre dominar a máquina e seus elementos, agindo como a agulha magnética de uma bússola" (VINCI, 1493 *apud* PROCINO et al, 2009). Leonardo usou a bússola como analogia para o homem no centro da máquina porque para onde quer que a vire, o mostrador sempre aponta para a mesma direção. O que hoje poderíamos explicar com a conservação do momento angular.

Leonardo não somente imaginou a "forma" de sua invenção, mas ele também teve o cuidado de pensar quais os materiais a serem utilizados. Previu o uso de materiais "plásticos", através da criação de seus "mistioni" (misturas), Leonardo também mencionou o aço, "acciaro", estudou brasas e resinas, elaborou fórmulas para compostos químicos e, além disso, um grande esforço foi dedicado à investigação de estruturas modulares, articulações e materiais leves e resistentes. (PROCINO, L. et al, 2009).

O Museo Ideale Leonardo Da Vinci, em colaboração com o Studio M em Florença, identificou nesta ideia de Leonardo um dos projetos mais ambiciosos, com relação ao sonho do voo humano. Então surgiu a ideia de reproduzir, em escala real, a "esfera voadora", construída na mesma escala, com materiais diferentes, mas respeitando plenamente a intuição e o método de Leonardo. Um modelo de 1:25 foi fabricado e testado em um túnel de vento. Os resultados obtidos ainda não garantem que a "esfera de Leonardo" seria realmente capaz de voar e ser de alguma forma controlada. O modelo não é absolutamente simétrico e bastante instável, por conta disso, o modelo em escala real não pôde ser testado. (PROCINO, L. et al, 2009).



Figura 30: Desenho realístico da Esfera Voadora Fonte: PROCINO et al. 2009.



Figura 31: Modelo testado no túnel de vento CRIACIV.

Fonte: PROCINO et al, 2009.

3.2.3 DISPOSITIVOS E PEÇAS PARA ESTUDOS

Algumas das máquinas desenhadas por Leonardo são maquinas de voo mecânico, onde a máquina voa sem piloto, apenas graças ao movimento de peças como engrenagens e asas. Em seus manuscritos, Da Vinci desenhou muitas engenhocas, várias das quais são estudos meramente preliminares, em que, na maior parte do tempo, ele tentava imitar a anatomia de um animal (pássaro, morcego ou um inseto, como uma libélula), e também as posições das asas nas diferentes fases do voo.

PARAFUSO AÉREO

Fólio 83v – Paris Manuscript B

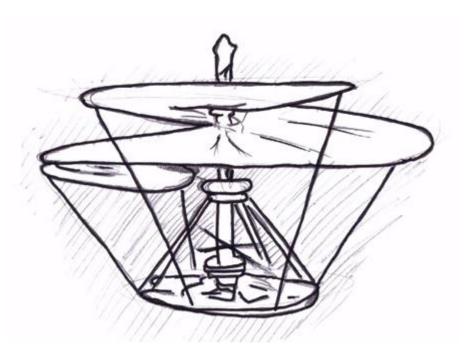


Figura 32: Esboço Leonardesco do Parafuso Aéreo Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

O mais famoso dos desenhos de Leonardo, o Parafuso Aéreo está entre as primeiras máquinas projetadas por ele, em seu caderno Manuscript B, datado entre 1483 a 1486, mas diferente das outras máquinas dessa mesma época, o parafuso aéreo foi planejado para estudar a eficiência de tração de hélices, e não como uma real máquina de voo. O experimento proposto por Leonardo é destinado a verificar se o ar é um fluido que pode ser pressionado e usado como apoio para "empurrar-se" para cima em voo.

Em suas notas, da Vinci escreveu:

A borda externa do parafuso aéreo é um fio grosso com um raio de cerca de quatro metros (13 pés).

Para fabricar esse instrumento corretamente, é necessário utilizar pano de linho engomado, para que o ar não passe através do tecido. Se girado rapidamente, esta máquina penetrará o ar como se fosse um parafuso, e irá decolar (VINCI, 1489, p. 83v *apud* LEONARDO3, 2016-a).

O Parafuso Aéreo mede cerca de quatro metros de diâmetro, e é feito de pinho, linho e arame. A máquina precisa de quatro homens para girar a plataforma rotativa, a fim de fazer o dispositivo levantar voo.

Leonardo enunciou que o Parafuso Aéreo poderia ser impelido para cima usando uma mola, a qual é enrolada no sentido horário. Uma vez que a tensão da mola fosse atingida, haveria energia suficiente para decolar, porém apenas por alguns segundos... Após decolar, a estrutura não poderia continuar girando, pois não haveria nenhum apoio contra o qual pressionar. (LEONARDO3, 2016-a).

Especialistas dizem que esta seria a máquina que antecederia o helicóptero, e também que inspirou Igor Sikorsky a inventá-lo.



Figura 33: Modelo em exposição no Museu Nacional de Ciência e Tecnologia Fonte: Lemonde, 2016

ANEMOMETRO

Fólio 675 – Código Atlântico.

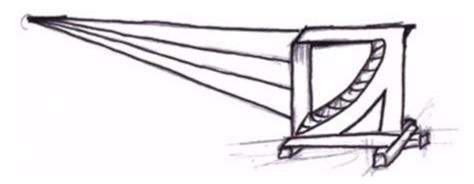


Figura 34: Esboço Anemômetro Leonardesco Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

O Anemômetro é uma madeira simples graduada com uma lâmina que se move em função da força do vento. O instrumento foi utilizado para o estudo de condições do tempo, para garantir a segurança do voo. (PROCINO, L. et al, 2009).

O fólio 675 do Código Atlântico (Anexo 17, p. 88) também compreende vários desenhos de máquinas voadoras e outros dispositivos de diferentes naturezas. O desenho do anemômetro, que pode ser datado entre 1483 e 1486, é acompanhado por uma legenda interessante em que Leonardo salienta a necessidade de dotar o instrumento com um relógio, a fim de verificar e registrar a velocidade do vento: "para medir a distância percorrida por hora, com a força do vento, você precisa de um relógio que mostra as horas, e os minutos" (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-j).

Historiadores especulam que o fascínio de Leonardo com o voo foi o que o inspirou a aprimorar o anemômetro. Da Vinci não chegou a inventar o dispositivo, mas sim fez variações sobre o originalmente desenhado por Leon Batista em 1450.



Figura 35: Anemômetro Fonte: macchinedileonardo, 2016

INCLINOMETRO

Fólio 1058 – Código Atlântico.

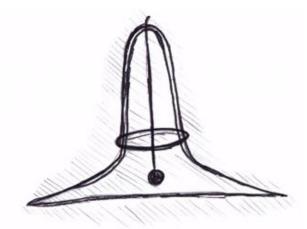


Figura 36: Esboço DaVinciano do Inclinômetro Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

O Inclinômetro serviria para controlar a posição das máquinas voadoras idealizadas por Leonardo. Para que a máquina consiga a posição horizontal, indispensável para certas condições de voo, a pequena bola na campânula deve ser posicionada exatamente no meio do inclinômetro. O vidro em volta serve para evitar que o vento afete o movimento da bola.

Na parte inferior do fólio está o desenho do inclinômetro, (que pode ser datado entre 1483 e 1486) e a legenda: "A bola no meio do círculo irá permitir-lhe direcionar o curso da sua máquina. Isto é, sempre que quiser voar horizontalmente certifique-se de que a bola está no meio do círculo. Experimente e verá" (VINCI, 1483, p. 1058) (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-i).

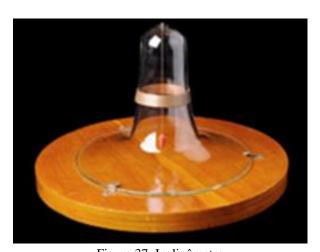


Figura 37: Inclinômetro Fonte: Museo Nacionale dela Scienza e dela Tecnologia, 2016

ESTRUTURA DE UMA ASA

Fólio 858 – Código Atlântico.



Figura 38: Esboço Leonardesco da Estrutura de uma Asa Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

O estudo da estrutura de uma asa marcou um momento extremamente importante no esforço de Leonardo para projetar uma máquina capaz de fazer o homem voar. O fólio, que pode ser datado de entre 1486 e 1490, contém um desenho de uma asa mecânica coberta de pano e operada por meio de uma manivela, enrolando uma corda em torno de um molinete. Este desenho mostra uma asa de morcego com uma moldura de madeira e cana, totalmente coberta com tecido esticado. Não há escritos neste fólio, no entanto, em um estudo anterior Leonardo salientou a necessidade de abandonar suas pesquisas em asas ornamentadas e voltar sua atenção para uma asa com uma cobertura uniforme. (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-e/l).



Figura 39: Estrutura de uma Asa Fonte: Museo Nacionale dela Scienza e dela Tecnologia

ASA ARTICULADA

Fólio 844f, v – Código Atlântico.

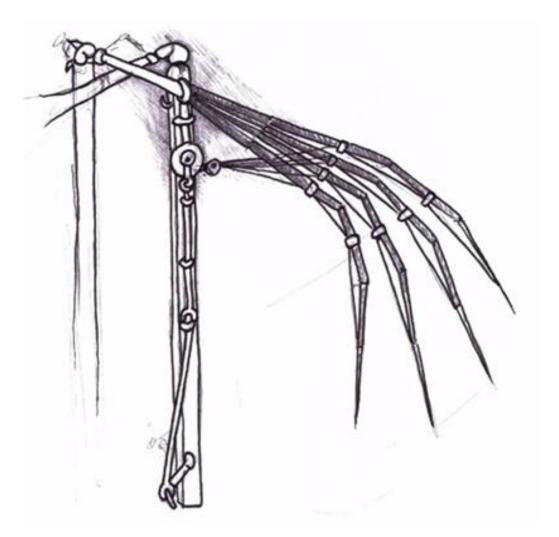


Figura 40: Esboço Leonardesco de uma Asa Articulada Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Leonardo desenvolveu este dispositivo dotado de mecanismos de tração e de torção na parte exterior da asa, em seu esforço para reproduzir fielmente a estrutura da asa de um pássaro. Parece ser sua intenção experimentar esses dispositivos usando um modelo em pequena escala coberto de penas. No canto superior direito, vemos o aparelho em uma forma simplificada e, no centro, uma versão mais complexa composta de quatro seções. Quando o eixo inferior é posto em movimento a asa é movida para cima e para baixo, puxando a polia simultaneamente às escoras, que dobram as pontas das asas. (MUSEO NACIONALLE DELLA SCINEZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-1).

O Fólio pode ser datado de 1496, e contém o estudo de uma asa articulada, detalhes sobre as articulações e molas para serem empregados em sua construção e contendo a inscrição:

Para o mecanismo de mola, use fio fino, endurecido; se as seções de arame entre as articulações são da mesma espessura e comprimento, e se cada mola tem o mesmo número de seções de arames, as molas assim obtidas serão igualmente fortes e resistentes (VINCI, 1478-1518, p. 844f, v).

No verso, Leonardo dá uma descrição detalhada desta parte da asa, que é composta por três seções unidas por molas metálicas que servem para abri-la. O cabo que corre através dos anéis é usado para dobrar toda a estrutura, flexionando-o como um arco. Os mecanismos são lubrificados por um tipo de "sabão". (VINCI, 1478-1518 *apud* LEONARDO3, 2007).

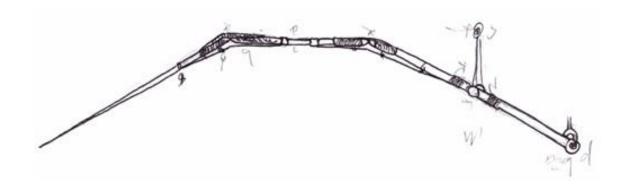


Figura 41: Esboço Leonardesco da Asa Articulada no verso Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

ASA COM INCLINAÇÃO AJUSTÁVEL

Fólio 934 – Código Atlântico.

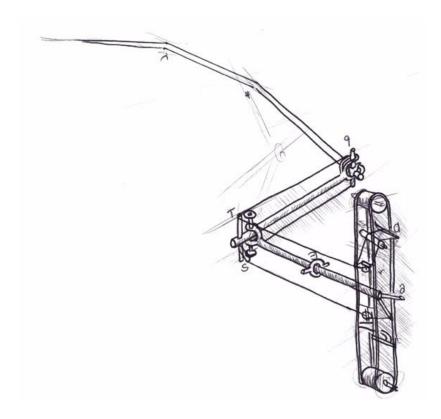


Figura 42: Esboço DaVinciano da Asa com Inclinação Ajustável Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

O fólio, que pode ser datado de cerca de 1496, contém o desenho de um mecanismo para levantar e virar a asa de uma máquina voadora. Um dos dispositivos mais abrangentes já concebidos por Leonardo.

Da Vinci tentou várias vezes reproduzir o mecanismo das articulações das asas dos pássaros nas diversas fases do voo. O modelo mostrado, que foi reconstruído a partir de um de seus desenhos, provavelmente feito durante sua primeira passagem em Milão, é acompanhado por uma descrição detalhada da posição dos braços e pernas do passageiro, e dos movimentos sincronizados necessários para a asa inclinar graças a um sistema de cordas e várias articulações. A asa foi projetada para cortar o ar quando é movida para a frente, e voltar à posição com a sua face dianteira. (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-b).

BATEDOR DE ASA

Fólio 88v – Manuscript B.

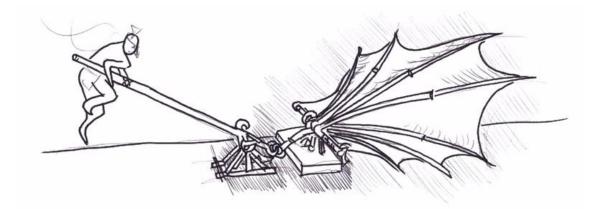


Figura 43: Esboço Leonardesco do Batedor de Asa Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

Este design não é na verdade uma máquina voadora, mas sim um modelo experimental usado para estudar o bater de uma asa. Datado entre 1483 e 1486, Leonardo quer demonstrar na prática que as asas podem sustentar pesos. Acreditava que se a longa alavanca fosse empurrada para baixo com rapidez suficiente, a asa conectada poderia levantar uma bancada tão pesada quanto um homem. (LAURENZA, 2006).

Depois de ter verificado que a envergadura da asa de um pato expressa em quintas³ é igual à raiz quadrada do peso do animal, Leonardo calculou que, a envergadura da asa necessária para levantar um homem e sua máquina voadora, pesando um total de 200 libras, deve ser igual a cerca de a raiz quadrada do peso total: 12 metros de largura e comprimento, o que a torna muito difícil de ser manobrada por um homem só. Se a força aplicada pelo piloto e a força gerada pelo bater as asas no ar fossem suficientes, a máquina iria levantar do chão. (LAURENZA, 2006).

Em suas notas, Leonardo salienta a importância da velocidade na realização do movimento para baixo. Ele compara com um exemplo interessante de como um homem imerso em água pode elevar-se acima, empurrando os braços para baixo e, em seguida, levantando-os rapidamente, em vez de movê-los lentamente. (LAURENZA, 2006).

A estrutura consiste em um cavalete de madeira simples com um pino central, presumidamente feito em metal, utilizado para suportar a grande força e velocidade gerada

.

³ Unidade de medida: Corresponde à quinta parte de um metro.

pelo operador para sustentar o bater da asa repetidamente. (MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA, 2016-m/o).



Figura 44: Dispositivo para testar o bater de uma asa Fonte: Museo Nacionale della scienza e della tecnologia, 2016

LIBÉLULA MECÂNICA

Fólio 1051 – Código Atlântico.

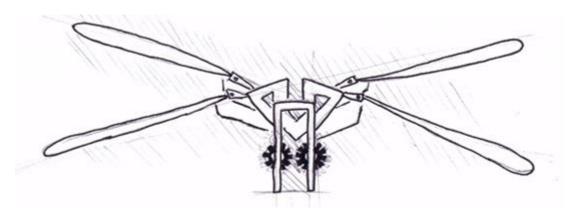


Figura 45: Esboço criado para a Libélula Mecânica Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

A libélula mecânica pertence à categoria de máquinas que imitam pássaros e insetos, projetadas para estudar o voo. É uma das máquinas mais complexas de Leonardo: a ideia consiste em reproduzir o bater das asas de uma libélula, o que é mais complexo do que apenas um simples movimento para cima e para baixo. É extremamente difícil criar uma réplica mecânica do movimento natural de um animal. O bater de quatro asas da libélula é

particularmente complexo e Leonardo estava bem consciente sobre quão difícil seria criar esta máquina, e a descreveu em detalhes:

As asas devem voltar para o topo muito rapidamente, (...) tem de ser feito na velocidade requerida pelo motor. O movimento de cada uma das quatro asas é sincronizado com as outras. (VINCI, 1478-1518, p. 1051 apud LEONARDO3, 2016).

As asas de uma libélula são planas durante a descida para empurrar o ar, tanto quanto possível, enquanto que no movimento ascendente elas se curvam em um ângulo para enfrentar menor resistência do ar. Se não fosse assim não seria capaz de voar, porque o movimento criado quando as asas batem para baixo, seriam cancelados quando as asas retornam ao seu ponto de partida. (LAURENZA, 2004).

Leonardo descobriu como imitar esse movimento projetando dois pares de asas que giram em torno de um pivô central, para cima e para baixo. Um par de motores ativam um sistema mecânico complexo feito de engrenagens utilizando um eixo de comando equipados com hastes. Enquanto as asas batem contra o ar, movendo-se rapidamente para cima e para baixo, algumas barras de ligação dobram as asas para baixo e as posiciona na diagonal durante o curso ascendente.



Figura 46: Miniatura da máquina Libélula Mecânica Fonte: The Great Canadian Model Builders, 2016

O mecanismo é muito delicado e, a fim de fazer a máquina trabalhar corretamente, ele deve ser muito preciso. Além disso, o poder que motores eram capazes de fornecer definitivamente não seria suficiente para levantar a máquina do chão. Apesar disso, o plano de máquina é absolutamente fascinante e mesmo que seja muito lento, as asas se movem exatamente da mesma forma que as de uma libélula. (LEONARDO3, 2016-g).

PÁSSARO MARIONETE

Fólio 15v – Código de Voo.

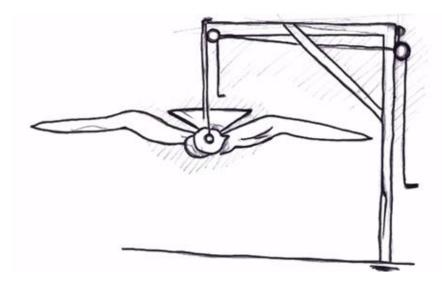


Figura 47: Esboço Leonardesco do Pássaro Marionete Fonte: Desenho elaborado pela autora e colaborador

O objetivo desse projeto é tentar entender o comportamento do centro de gravidade de um pássaro em relação aos seus movimentos e navegação no ar, por exemplo, quando o pássaro mergulha ou ascende. Na parte superior do fólio 15v, escreve: "Isto é feito a fim de encontrar o centro de gravidade da ave; sem este instrumento, o pássaro construído seria de pouca utilidade" (VINCI, 1505 *apud* LEONARDO3, 2007). Consiste em um fantoche de pássaro travado em um cavalete de madeira, controlado por cordas ligadas às asas e no corpo. Depois de suas observações, Leonardo indica dois pontos importantes no corpo de um pássaro: o centro de gravidade e a ponta de suas asas (o centro de resistência). (LEONARDO3, 2016-i).



Figura 48: Pássaro Marionete construído pela equipe Leonardo3 Fonte: Leonado3, 2016

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As obras DaVincianas são de riquíssima interdisciplinaridade. O presente trabalho buscou elucidar seus estudos acerca do voo dos pássaros e de outros animais voadores. Durante suas observações, Leonardo realizou um estudo do voo baseado na observação da natureza, desenhando e explicando com perfeição os movimentos dos animais; elaborou conceitos tanto físicos, referentes ao movimento e sustentação do voo, como biológicos, referentes à anatomia dos pássaros e os diferentes tipos de voos realizados por eles. (OLIVEIRA, 2016).

Acreditamos que o objetivo principal de elaborar um documento que unisse os estudos sobre o voo e esboços de máquinas voadoras tenha sido alcançado, já que mais de vinte desenhos foram descobertos e trazidos a este documento, e que poderão ser utilizados para introduzir tópicos interdisciplinares de arte-ciência no ensino de Física.

Algumas dificuldades foram comuns na elaboração do mesmo, como a de separar referências confiáveis e ainda assim conseguir o maior número de conteúdos possível. Outra dificuldade muito presente foi a de encontrar imagens originais e em bom estado dos esboços das máquinas feitas por Leonardo. Foi daí que então surgiu a ideia de refazer esses desenhos manualmente, para que não faltasse o esboço de nenhuma das máquinas e instrumentos, algumas delas tiveram inclusive de ser criadas a partir de fotos dos museus, pois não foi possível encontrar seu respectivo desenho original. A mesma dificuldade manifestou-se para encontrar os fólios originais para serem colocados nos anexos, e por conta disso, alguns deles estão faltando.

O tema é interessante, ao passo que mostra a Ciência como mutável, já que da Vinci outrora discorrera sobre conceitos que foram de certa forma redescobertos por outras pessoas muitos anos mais tarde, pois seus Códigos permaneceram ocultos durante muitos anos. Resgatar essa história pode ajudar os alunos a compreenderem o desenvolvimento da Ciência, fazendo com que percebam que os conteúdos que estudam estão relacionados e que isso é necessário para o desenvolvimento social, cultural e científico, o que pode contribuir para um despertar do interesse nas disciplinas científicas e um pensamento mais abrangente sobre diversas áreas de conhecimentos. (OLIVEIRA, 2016).

Fica claro que o grande anseio de Leonardo era o de projetar uma máquina que possibilitasse ao homem voar batendo asas como um pássaro, porém, depois de muitos estudos, acabou percebendo que isso seria impossível, devido à limitação da anatomia

humana, mas encontrou no voo planado uma possibilidade para a realização do voo. Observamos que a maioria de seus dispositivos desse tipo têm grande potencial para funcionar, precisando de pequenos ajustes. Por isso, sabemos que Leonardo esteve próximo à realização de seu sonho, e mesmo que ele próprio não tenha conseguido alcançá-lo, presenteou-nos com um esplêndido estudo acerca do voo.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Leonel Martins. EUROPA RENOVADA: RENASCIMENTO E HUMANISMO - DO MANEIRISMO AO BARROCO. **Revista da Católica,** Uberlândia MG, v. 3, n. 5, jan/jul. 2011. Disponível em:

http://catolicaonline.com.br/revistadacatolica2/artigosn4v2/11-historia.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2016.

ASOINALL Sarah; DUNN Tim. **Leonardo da Vinci**. Produção de Leslie Megahey. Manaus AM: BBC, 2005. (100 min)., DVD, color, Inglês, Legendado.

BASSALO, José Maria Filardo. A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA. **Revista da SBHC**, Belém PA, n. 8, p.57-66, 1992.

BENJAMIN, Cesar (Ed.). **Dicionário de Bibliografias Científicas.** Rio de Janeiro - RJ: Contraponto, 2007.

BURKE, Peter. **O Renascimento Italiano:** Cultura e Sociedade na Itália. Lisboa - Portugal: Nova Alexandria, 1999. 344 p.

BURKE, Peter. O Renascimento. Lisboa, Portugal: Edições Texto & Grafia, Ltda, 2008.

CAPRA, Fritjof. A Ciência de Leonardo da Vinci: um mergulho profundo na mente do grande gênio da Renascença. Tradução Bruno Costa – São Paulo: Cultrix, 2008.

CHAUVEAU, Sophie. **Leonardo da Vinci – Biografia.** Editora Le Livros, 2012. Disponível em: https://lelivros.top/book/baixar-livro-leonardo-da-vinci-biografia-sophie-chauveau-em-pdf-epub-e-mobi-ou-ler-online/». Acesso em: 16 dez. 2016.

DINGOX. El Ornitóptero de Leonardo da Vinci. Disponível em:

http://dingox.com/historia-y-geografia/el-ornitoptero-de-leonardo-da-vinci.html>. Acesso em: 22 dez. 2016.

FREIRE, Atila P. Silva. **O voo dos pássaros e a Mecânica do Fluidos.** Programa de Engenharia Mecânica (COPPE/UFRJ). VIIIEEE, Petrópolis - RJ, Brasil, 2012.

GARIN, Eugenio. **Ciência e Vida Civil no Renascimento Italiano.** São Paulo SP: Editora Unesp, 1994. 189 p.

GIOVANAZZI, Maria Cristina Pires Monte. Renascimento: uma ruptura medieval ou continuidade moderna? **História, imagem e narrativas,** Rio de Janeiro RJ, n. 18, abr. 2014.

JAKAB, Peter (Ed.). An Extraordinary Journey: The History of Leonardo da Vinci's Codex on the Flight of Birds. 2013-a. Disponível em:

https://airandspace.si.edu/stories/editorial/extraordinary-journey-history-leonardo-da-vinci%E2%80%99s-codex-flight-birds. Acesso em: 15 dez. 2016-a.

JAKAB, Peter (Ed.). **Leonardo da Vinci and Flight.** 2013-b. Disponível em: https://airandspace.si.edu/stories/editorial/leonardo-da-vinci-and-flight. Acesso em: 15 dez. 2016-b.

LAURENZA, Domenico. **LEONARDO:** On Flight. Florence - Milan: Giunti Editore, 2004. Translation by: Joan M. Reifsnyder.

LAURENZA, Domenico. **Leonardo's Machines:** da Vinci's inventions revealed. Milão, Itália: David And Charles, 2006. Editado por: Mario Taddei e Edoardo Zanon.

LEONARDO DA VINCI'S INVENTIONS. **The Landing Gear:** Leonardo da Vinci's Landing Gear. Disponível em: http://www.leonardodavincisinventions.com/inventions-for-flight/leonardo-da-vinci-landing-gear/. Acesso em: 27 dez. 2016.

LEONARDO3. **Aerial Screw**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/l3-works/machines/1466-aerial-screw.html. Acesso em: 15 dez. 2016-a.

LEONARDO3. **Flying Bicycle**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/l3-works/machines/1497-flying-bicycle.html>. Acesso em: 15 dez. 2016-b.

LEONARDO3. **Flying Machine of Milan**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/13-works/machines/1428-flying-machine-of-milan.html>. Acesso em: 15 dez. 2016-c.

LEONARDO3. **Flying Tandem**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/l3-works/machines/1522-flying-tandem.html>. Acesso em: 15 dez. 2016-d.

LEONARDO3. **Great Kite**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/l3-works/machines/1424-great-kite.html. Acesso em: 15 dez. 2016-e.

LEONARDO3. **Mechanical Bat**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/l3-works/machines/1486-mechanical-bat.html>. Acesso em: 15 dez. 2016-f.

LEONARDO3. **Mechanical Dragonfly**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/13-works/machines/1473-mechanical-dragonfly.html>. Acesso em: 15 dez. 2016-g.

LEONARDO3. **Mechanical Eagle**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/l3-works/machines/1496-mechanical-eagle.html>. Acesso em: 15 dez. 2016-h.

LEONARDO3. **Wired-controlled Bird**. Disponível em: http://www.leonardo3.net/en/13-works/machines/1485-wire-controlled-bird.html>. Acesso em: 15 dez. 2016-i.

LUCISANO, Fabio Rodrigo; NEVES, Marcos Cesar Danhoni. Uma Análise das Perspectivas Inter e Transdisciplinares na História da Ciência Presentes nos Livros Didáticos de Física. In: SILVA, Josie Agatha Parrilha da; NEVES, Marcos Cesar Danhoni (Org.). **Arte e Ciência:** um encontro interdisciplinar. Maringá, Pr. Massoni, 2010. Cap. 8. p. 123-137.

MARTINS, Roberto de Andrade. Como Não Escrever Sobre História da Física: um Manifesto Historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** Campinas SP, v. 1, n. 23, p.113-130, mar. 2001.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução. **A História das Ciências e Seus Usos Na Educação**. p. xxi-xxxiv, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). MANUSCRIPTS. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/manoscritti/>. Acesso em: 15 dez. 2016-a.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). Adjustable-tilt Wing. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=28>. Acesso em: 15 dez. 2016-b.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). Leaf-spring engine for flying machine. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=24. Acesso em: 15 dez. 2016-c.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). **Air Screw.** Disponível em: http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=29>. Acesso em: 15 dez. 2016-d.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). Wing Structure. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=27. Acesso em: 15 dez. 2016-e.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). **Parachute.** Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id macchina=26>. Acesso em: 15 dez. 2016-f.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). Flying Ship. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=25. Acesso em: 15 dez. 2016-g.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). Flapping-wing Machine With a Vertical Bearing. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id macchina=22>. Acesso em: 15 dez. 2016-h.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). Inclinometer. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=21. Acesso em: 15 dez. 2016-i.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). **Anemometer.** Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=20. Acesso em: 15 dez. 2016-j.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). Glider With Manoeuvrable Tips. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=19. Acesso em: 15 dez. 2016-k.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). Articulated Wing. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=17. Acesso em: 15 dez. 2016-l.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). Beating Wing. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/english/leonardo/models/macchina-leo.asp?id_macchina=18>. Acesso em: 15 dez. 2016-m.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). MACCHINA VOLANTE - VITE AEREA. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/dipartimenti/catalogo_collezioni/scheda_oggetto.asp?idk_in=ST070-00001&arg=macchina%20volante. Acesso em: 15 dez. 2016-n.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão,

Itália). MACCHINA VOLANTE - ALA BATTENTE. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/dipartimenti/catalogo_collezioni/scheda_oggetto.asp?idk_in=ST070-00002&arg=macchina%20volante. Acesso em: 15 dez. 2016-o.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). MACCHINA VOLANTE CON ESTREMITÀ ALARI MANOVRABILI - ALIANTE. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/dipartimenti/catalogo_collezioni/scheda_oggetto.asp?idk_in=ST070-00031&arg=macchina%20volante >. Acesso em: 15 dez. 2016-p.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). MACCHINA VOLANTE CON MOTORE A BALESTRA. Disponível em: http://www.museoscienza.org/dipartimenti/catalogo_collezioni/scheda_oggetto.asp?idk_in=ST070-00110&arg=macchina%20volante >. Acesso em: 15 dez. 2016-q.

MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA (Milão, Itália). MACCHINA VOLANTE AD ALI BATTENTI - NAVICELLA VOLANTE. Disponível em:

http://www.museoscienza.org/dipartimenti/catalogo_collezioni/scheda_oggetto.asp?idk_in=ST070-00086&arg=macchina%20volante >. Acesso em: 15 dez. 2016-r.

MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE URBANO, **As Asas de um Sonho**. Disponível em: http://www.museudantu.org.br/Galeria/davinci.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2017.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA. **Revista Ciência & Educação**, Maringá PR, v. 1, n. 5, p.73-81, 1998.

OLIVEIRA, Mayara Ricardo de. **Leonardo da Vinci e o Estudo do Voo:** Uma Abordagem para o Ensino de Ciências. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado). - Curso de Física, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá PR, 2016.

PROCINO, L. et al. LEONARDO, THE WIND AND THE FLYING SPHERE. **Eacwe** 5, Florence, Italy, jul. 2009. Disponível em:

http://www.iawe.org/Proceedings/5EACWE/163.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2016.

SEVCENKO, Nicolau. O Renascimento: os humanistas, uma nova visão de mundo: a criação das línguas nacionais: a cultura renascentista na Itália. São Paulo: Atual, 1985.

SILVA, J. Martins e. Leonardo Da Vinci, Um Polímata da Renascença. **Boletim da Sphm,** Lisboa, v. 22, n. 2, p.6-28, abr. 2007.

TELEVIDEO. L'ornitottero. Disponível em:

http://www.televideo.rai.it/televideo/pub/articolo.jsp?id=10261>. Acesso em: 27 dez. 2016.

THELEGRAPH. Leonardo da Vinci parachute from 1485 finally has successful landing. Disponível em: http://www.telegraph.co.uk/news/1905000/Leonardo-da-Vinci-parachute-from-1485-finally-has-successful-landing.html Acesso em: 24 dez. 2016

UNIVERSAL LEONARDO (Org.). **Codex Atlanticus 1478-1518.** Disponível em: http://universalleonardo.org/work.php?id=212>. Acesso em: 15 dez. 2016-a.

UNIVERSAL LEONARDO (Org.). **Codex Madrid I 1490.** Disponível em: http://universalleonardo.org/work.php?id=503>. Acesso em: 15 dez. 2016-b.

UNIVERSAL LEONARDO (Org.). **Paris Manuscript B 1488-90.** Disponível em: http://universalleonardo.org/work.php?id=474>. Acesso em: 15 dez. 2016-c.

UNIVERSAL LEONARDO. **Flying Machine** – **Ms B Fol 74v-75r 1488-89.** Disponível em: http://universalleonardo.org/work.php?id=514>. Acesso em: 15 dez. 2016-d.

UNIVERSAL LEONARDO. Flight. Disponível em:

http://universalleonardo.org/essays.php?id=561. Acesso em: 15 dez. 2016-e.

VAN ACKER, Teresa. **Renascimento e Humanismo:** O homem e o mundo europeu do século XIV ao século XVI. 12. Ed. São Paulo - SP: Atual, 1992. 62 p.

VINCI, Leonardo da. Codice Atlantico. Milão, Leonardo 3 SRL, 2007.

VINCI, Leonardo da. Codice del Volo. Milão, Leonardo 3 SRL, 2007.

VINCI, Leonardo da. **Codex Madrid I.** 1493. Disponível em:

http://ebooks.library.cornell.edu/k/kmoddl/toc_leonardo1.html>. Acesso em: 22 dez. 2016.

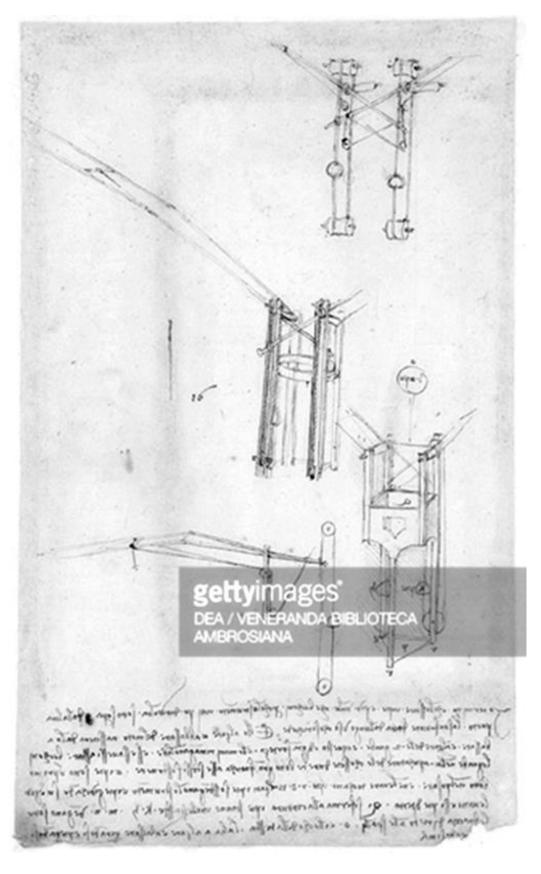
6. ANEXOS

Fólio 897r – Código Atlântico.



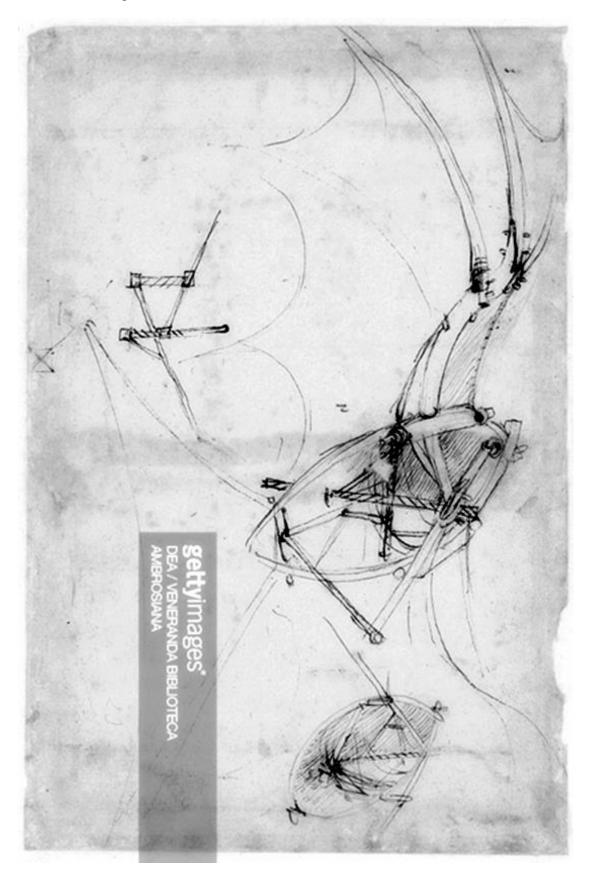
Anexo 1: Esboços de Leonardo para Bicicleta e Tandem Voadores. Fonte: GettyImages, 2016.

Fólio 749 – Código Atlântico



Anexo 2: Esboços originais da Máquina Voadora de Milão Fonte: GettyImages, 2016.

Fólio 860 – Código Atlântico.



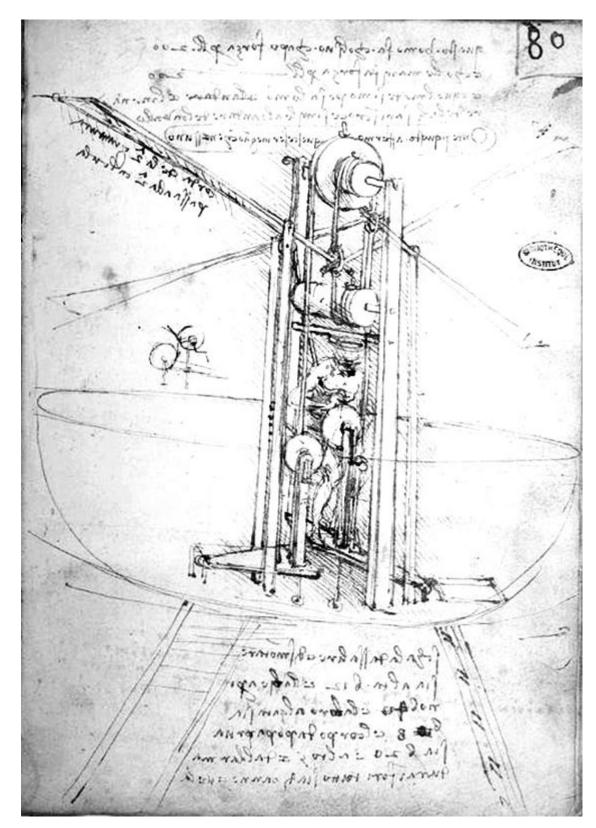
Anexo 3: Navio Voador desenhado por Leonardo no Código Atlântico Fonte: GettyImages, 2016.

Fólio 824 – Código Atlântico



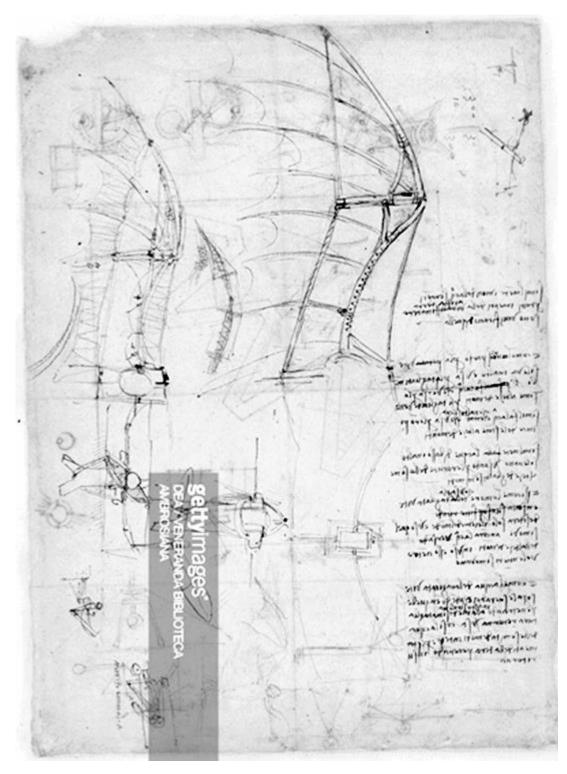
Anexo 4: Esboço original do Ornitóptero mais famoso de Leonardo: Ornitóptero Horizontal Fonte: Leonardo3, 2007.

Fólio 80r, Manuscript B



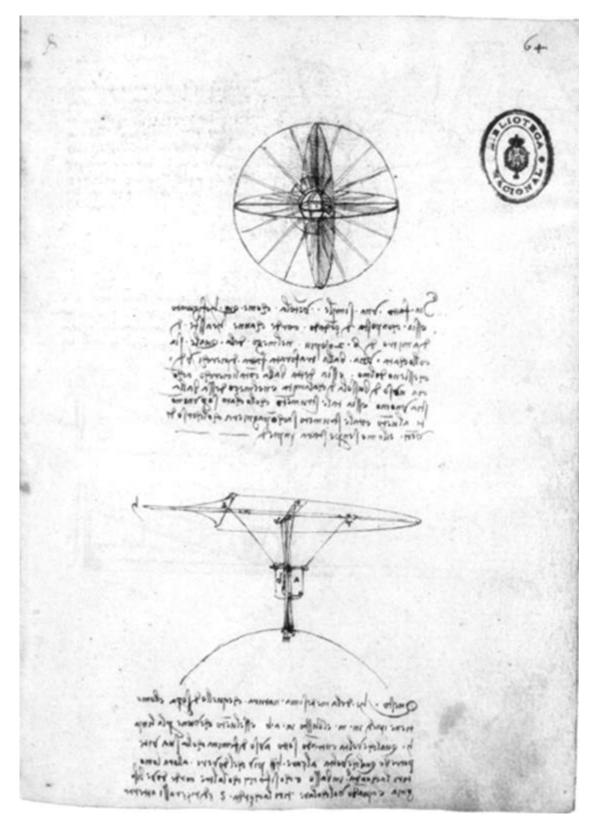
Anexo 5: Esboço feito por Leonardo de seu Ornitóptero Vertical Fonte: Universal Leonardo, 2016

Fólio 846 v, Código Atlântico



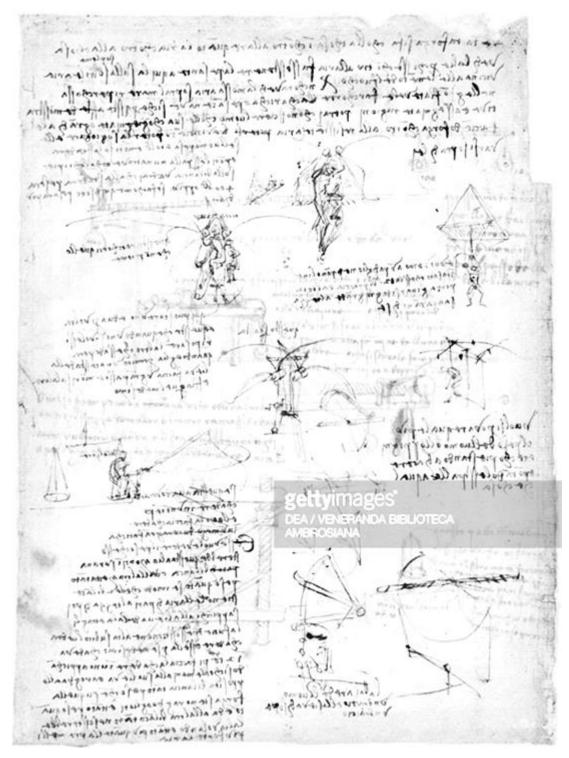
Anexo 6: Fólio que contém esboço do Planador com Asas Manobráveis Fonte: GettyImages, 2016

Fólio 64r, Madrid Manuscript I



Anexo 7: Planador Simples desenhado por Leonardo no Madrid Manuscript I Fonte: Codex Madrid I. 1493

Fólio 1058v, Código Atlântico



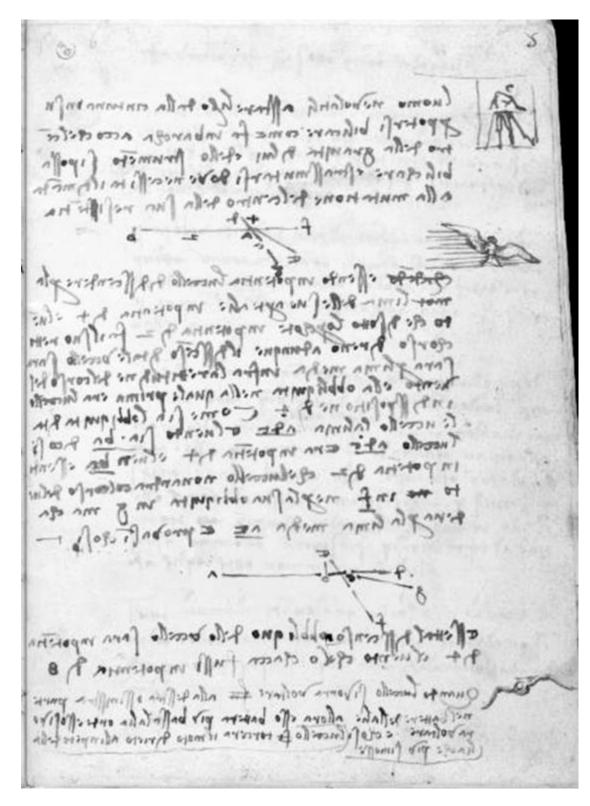
Anexo 8: Fólio que contém o projeto do Paraquedas Fonte: GettyImages, 2016

Fólio 83v, Paris Manuscript B



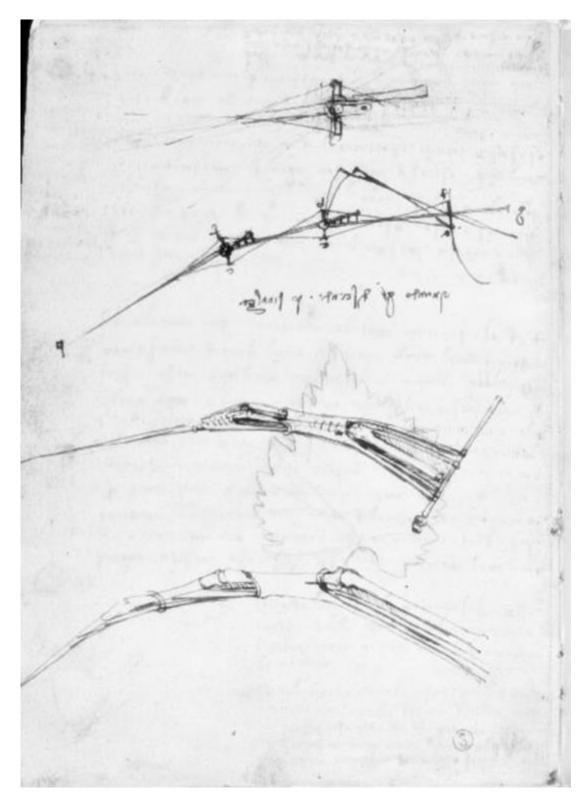
Anexo 9: Parafuso Aéreo Fonte: Universal Leonardo, 2016

Fólio 5f – Código de Voo.



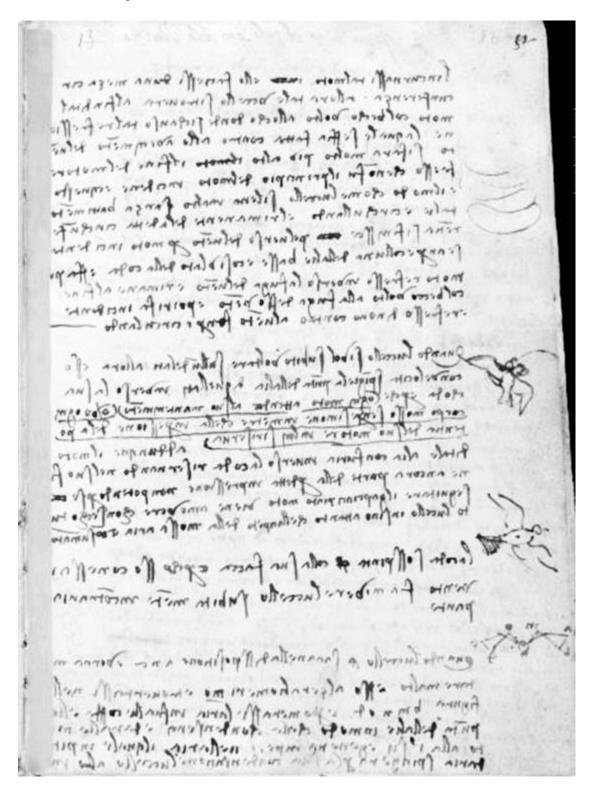
Anexo10: Fólio 5f – Código de Voo Fonte: Leonardo3

Fólio 11v – Código de Voo.



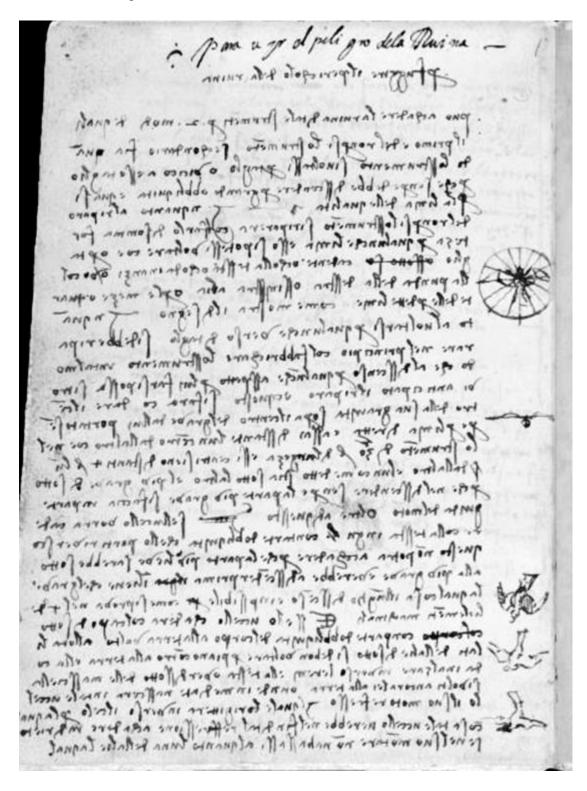
Anexo 11: Fólio 11v – Código de Voo Fonte: Leonardo3

Fólio 12f – Código de Voo.



Anexo 12: Fólio 12f – Código de Voo Fonte: Leonardo3

Fólio 12v – Código de Voo.



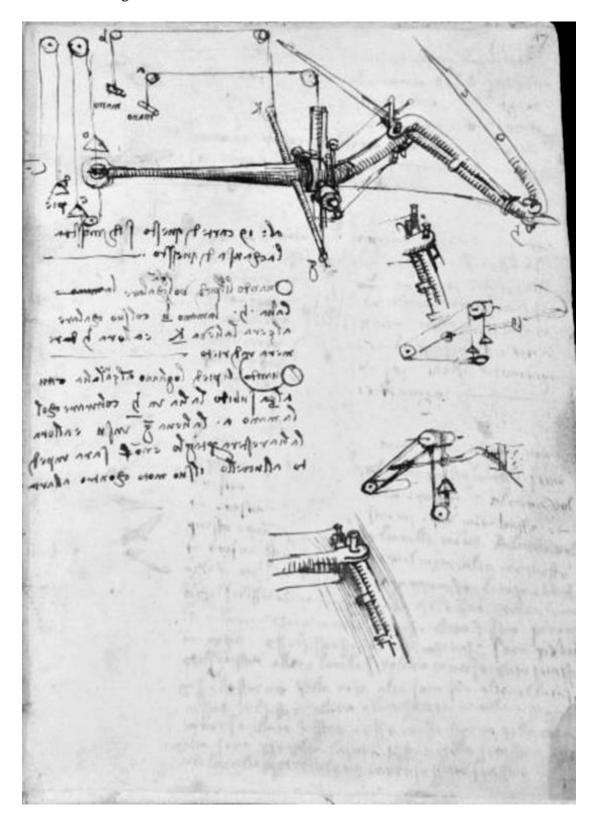
Anexo 13: Fólio 12v – Código de Voo Fonte: Leonardo3

Fólio 16v – Código de Voo.



Anexo 14: Fólio 16v – Código de Voo Fonte: Leonardo3

Fólio 17f – Código de Voo.



Anexo 15: Fólio 17f – Código de Voo Fonte: Leonardo3

Fólio 17v – Código de Voo.



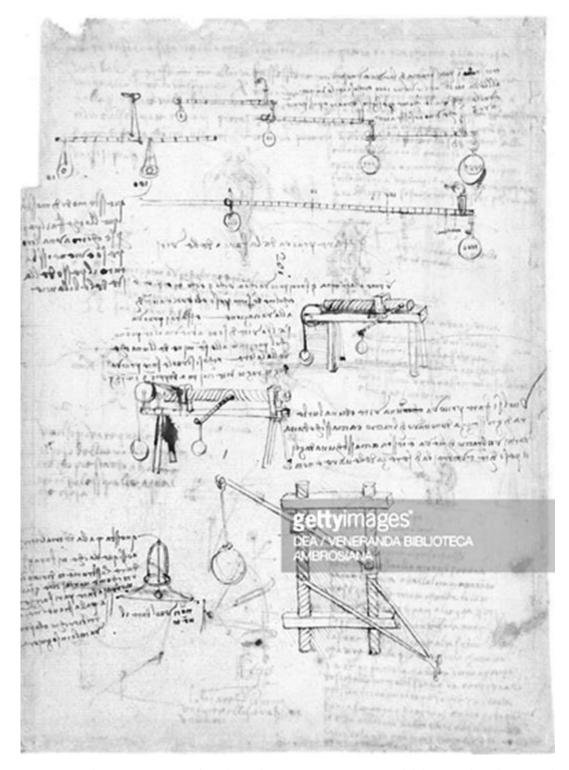
Anexo 16: Fólio 17v – Código de Voo Fonte: Leonardo3

Fólio 675, Código Atlântico



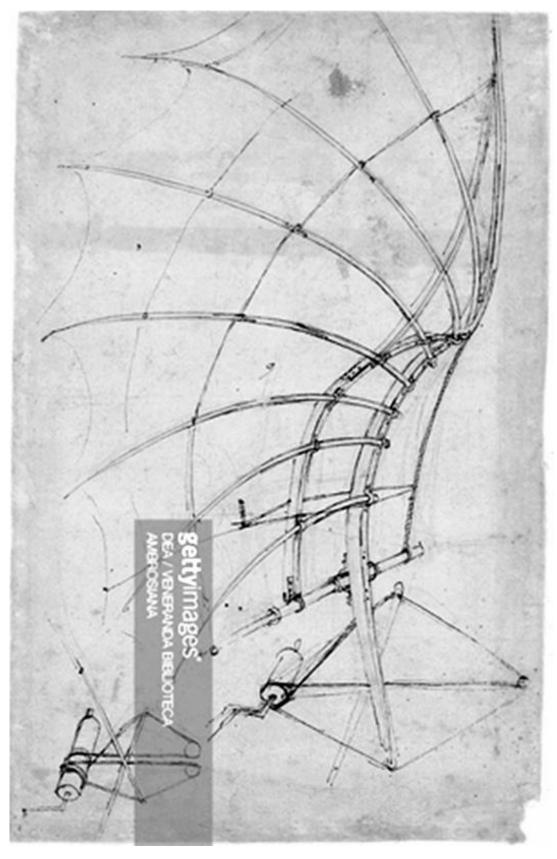
Anexo 17: Anemômetro no canto superior esquerdo Fonte: GettyImages, 2016

Fólio 1058f, Código Atlântico



Anexo 18: Fólio que contém o projeto do Inclinômetro que aparece na Bicicleta Voadora de Leonardo Fonte: GettyImages, 2016

Fólio 858 – Código Atlântico.



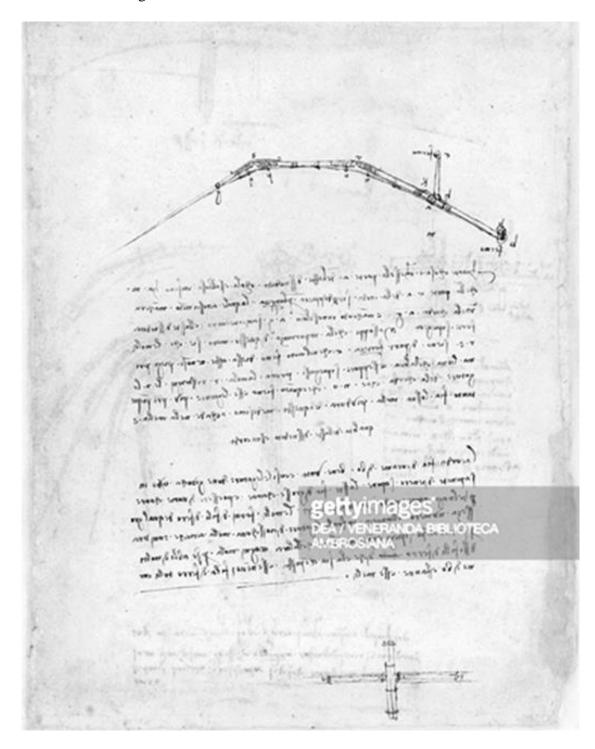
Anexo 19: Estrutura de uma Asa Fonte: GettyImages

Fólio 844f – Código Atlântico.



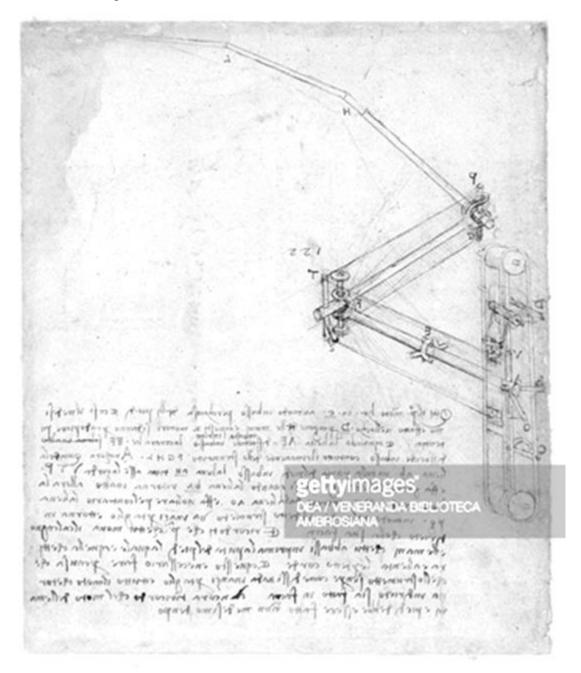
Anexo 20: Asa Articulada Fonte: Código Atlantico, Leonardo3, 2007

Fólio 844 v – Código Atlântico



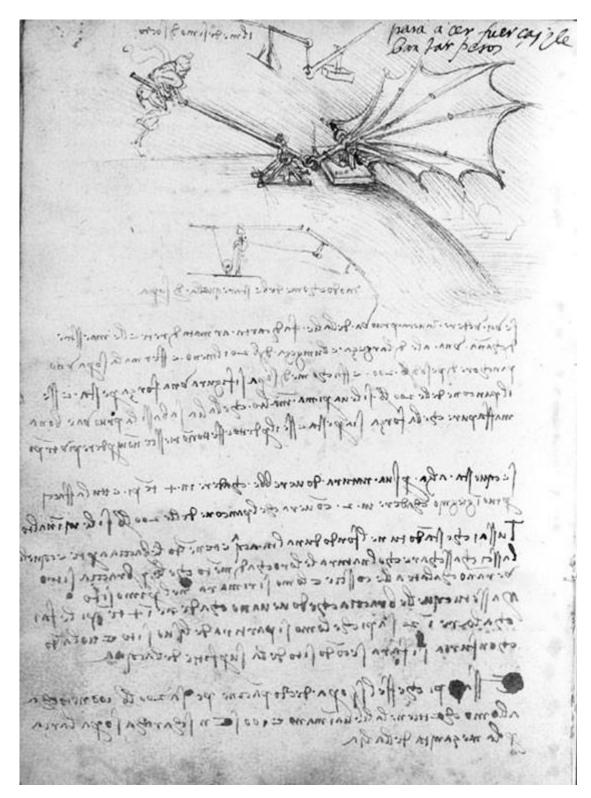
Anexo 21: Asa Articulada - verso Fonte: Código Atlantico, Leonardo3, 2007

Fólio 934 – Código Atlântico



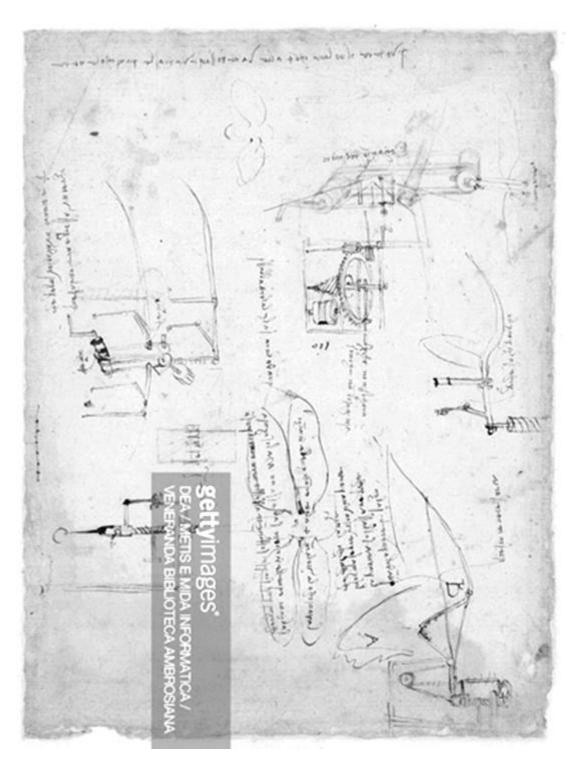
Anexo 22: Asa com Inclinação Ajustável Fonte: GettyImages, 2016

Fólio 88v – Manuscript B.



Anexo 2349: Batedor de Asa Fonte: Universal Leonardo, 2016

Fólio 1051 – Código Atlântico.



Anexo 24: Esboços do projeto Libélula Mecânica Fonte: GettyImages, 2016

Fólio 15v – Código de Voo.



Anexo 25: Esboços e Estudos do Pássaro Marionete Fonte: Leonardo3