

Acerca de viagens aéreas*

(Über Luftschiffahrt)

L. Boltzmann

Por ocasião da publicação de seu famoso teorema acerca da divisão do círculo, Gauss descreve, não sem uma certa dose de orgulho, como centenas de matemáticos tinham tentado sem sucesso solucionar este problema desde o tempo dos gregos, até concluírem que a tarefa seria impossível¹. O mesmo se aplica, até em maior grau, ao problema de uma aeronave. Com este termo refiro-me a um aparelho capaz de transportar uma ou mais pessoas livremente pelo ar, através de longas distâncias, numa direção desejada.

A quantidade de projetos fracassados nesta área é enorme, embora as mais brilhantes mentes de todas as diferentes épocas dele tenham se ocupado, do legendário Dédalo até Leonardo da Vinci. Na realidade é difícil achar outro problema que seja tão atraente ao espírito humano. Todos conhecem a riqueza de formas do mundo dos pássaros e insetos, espécies cuja superioridade e capacidade de se distribuir pelo planeta é consequência de uma habilidade de voar altamente desenvolvida, como nos ensinam os zoólogos. Mas e quanto ao homem, cujas ferrovias são capazes de vencer os mais velozes cavalos de corrida? Cujos navios não obstante suas dimensões, com sua dirigibilidade e mobilidade tanto dentro quanto sobre a água parecem rir da arte dos peixes? Não será ele algum dia capaz de seguir os pássaros através dos ares?

Uma descrição das vantagens que um dirigível nos traria não cabe aqui. Gostaria apenas de lembrar que à medida que cresce a mobilidade do meio crescem também as dificuldades em torná-lo útil mas, uma vez solucionadas, maior também é a velocidade que se pode atingir. Lembro-me ainda da minha estupefação quando criança por não entender porque se preferia abrir um caminho pelo istmo de Suez ao invés de ligar a Europa, a Ásia e a África com estradas de ferro. Eu não compreendia então a grande mobilidade dos navios sobre a superfície da água. Quais não seriam as vanta-

gens que de imediato nos ofereceria o ar, tão móvel e tão onipresente?

Não resta dúvida que um dirigível representaria uma revolução nos transportes, perto da qual aquela produzida pelas ferrovias e navios a vapor nem sequer poderíamos comparar. Nossos atuais exércitos teriam tanta chance contra as velozes e inatingíveis máquinas de aço, que das alturas despejassem dinamite, quanto uma legião romana teria contra uma moderna bateria de canhões. O sistema alfandegário teria que se submeter a profundas mudanças ou quem sabe mesmo desaparecer.

Do mesmo modo que antes de Gauss o problema da divisão do círculo caíra em descrédito, o problema da construção de uma aeronave seguiu o mesmo caminho. Grandes teóricos tenderam para a conclusão que este seria um problema insolúvel. Só há pouco se verificou uma mudança: mostrou-se, de maneira inquestionável, que as antigas fórmulas eram incorretas e acredito que posso provar-lhes aqui que não apenas uma solução é possível como ela, com grande probabilidade, surgirá num curto espaço de tempo.

Os Srs. esperam que eu, enquanto teórico, apresente uma prova baseada em complicadas fórmulas matemáticas. Não tenho condições de fazer isso sozinho, a não ser admitir a impotência da mecânica teórica face ao complicado [problema] dos vórtices no ar. Uma apresentação exaustiva da história deste problema ou uma descrição detalhada de aparatos voadores é impossível face ao curto espaço de tempo que aqui disponho. Gostaria assim de descrever as tarefas que cabem à teoria em linhas gerais, a saber onde ela deve fornecer idéias condutoras e destrinchar conceitos fundamentais.

O primeiro passo na solução do problema das viagens aéreas foi a invenção do balão. O mérito maior cabe aos franceses, provando o quão arejada era sua nação, no bom sentido da palavra². Os irmãos Montgol-

*Publicado originalmente em *Verhandlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte 1894, Allgemeiner Theil*, Verlag von F.C.W. Vogel, Leipzig, 1894. Tradução e notas de Sílvio R. Dahmen, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: silvio.dahmen@ufrgs.br

¹Boltzmann refere-se aqui ao problema da construção de um polígono regular de L lados apenas utilizando régua e compasso (Cf. as notas do tradutor ao final do texto).

²Boltzmann usa aqui de uma certa ironia ao fazer um jogo de palavras com o termo *luftig* (do s. *Luft* = ar), literalmente *arejado*, *aéreo*, mas que também pode ser usado com o sentido de *frívolo*, *leviano*. Ao referir-se à França como uma *luftige Nation*, pode-se ler

fier construíram o primeiro balão de ar quente; logo depois Charles fez um balão cheio de hidrogênio³. Embora o balão não tivesse qualquer dirigibilidade, movendo-se ao sabor dos ventos, o primeiro grande passo fora dado: pela primeira vez um homem conseguiu se alçar às alturas.

Seguiram-se inumeráveis experimentos para tentar manobrá-lo. Tomando emprestado os princípios dos navios a vapor, tentou-se conseguir a dirigibilidade com o uso de hélices ou pás giratórias⁴. Nem mesmo aparatos baseados nos princípios dos foguetes foram desprezados. Para conseguir uma maior mobilidade, deram-lhe a forma de charuto com a proa afilada. Um balão deste tipo, construído pelos oficiais franceses Krebs e Renard e movido a hélice, era de tal modo manobrável que podemos até dizer que ele era dirigível, desde que não houvesse vento. Apenas a velocidade era muito inferior àquela de um vento moderado, de modo que quando este soprava, mesmo fraco, o balão se tornava presa fácil⁵.

Na verdade um balão precisa ter aproximadamente mil vez o volume de um homem para poder alçá-lo no ar e um volume muito maior se quiser carregar um maquinário pesado. O uso de corpos tão colossais está obviamente em direta contradição com uma propriedade fundamental que os dirigíveis devem possuir, a saber sua fácil manobrabilidade. Apesar do emprego de balões não permitir um movimento veloz, nunca conseguiremos louvar o suficiente os sucessos destes homens que pela primeira vez conseguiram subir aos céus. Seus aparelhos ainda hoje prestam inestimáveis serviços à ciência, às forças armadas e a outras instituições.

No que tange à invenção de uma aeronave manobrável, este foi apenas um primeiro passo. Porém, se quisermos que os dirigíveis sejam capazes de transportar cargas, podemos ver num exemplo o quão fundamental e indispensável é um movimento rápido que supere [a força] dos ventos: as aves de rapina, após

atingirem grande velocidade, movem-se pelo ar praticamente sem bater as asas. Com isto somos levados [ao próximo passo]: as máquinas voadoras que, ao invés de utilizarem o empuxo de um gás cujo peso específico é menor que o do ar, utilizam a energia cinética de um mecanismo para assim transportarem uma carga pelos ares. Chamaremos estes aparelhos de máquinas voadoras dinâmicas.

Estas máquinas se dividem em duas classes: na primeira, a força motriz serve primordialmente para levantar a máquina do chão. Isto se consegue com uma ou mais hélices, que giram de modo a provocar um movimento na direção vertical, do mesmo modo que as hélices de um navio o fazem mover-se na horizontal. Para tanto basta que uma pequena porção da área total de varredura da hélice seja formada de duas ou quatro pás de mesma inclinação. Esta inclinação permite que elas se movam pelo ar em função da rápida velocidade de giro. Um modelo deste aparelho pode ser visto num conhecido brinquedo infantil. Imaginem assim um objeto pesado, ao qual estejam acopladas duas, quatro hélices deste tipo, propelidas por uma máquina num rápido movimento circular, e os Srs. terão um helicóptero.

O segundo tipo de máquina são os planadores ou aeroplanos, nos quais a força motriz serve essencialmente para o movimento horizontal, enquanto o empuxo surge do princípio que Wellner e Lilienthal mediram com precisão⁶: uma superfície curva e ligeiramente inclinada sente, devido à resistência do ar, um forte empuxo quando se movimenta rapidamente através do mesmo. Vamos chamá-lo aqui de princípio do empuxo aerodinâmico⁷. Este princípio pode ser melhor esclarecido com um simples brinquedo de criança, uma pipa. A mesma é formada por uma superfície curva e a inclinação vem do peso do rabo a ela preso. Se puxada por um fio rapidamente através do ar, ela subirá até uma altura considerável. O mesmo princípio pode ser en-

a passagem de duas maneiras: uma nação de mentes arejadas, cheia de novas idéias, ou cheia de leviandades.

³Joseph Michel (1740-1810), Jacques Étienne (1745-1799) e Jacques Alexandre César Charles (1746-1823) são considerados os pais do balão de ar quente, embora Bartolomeu de Gusmão, nascido em Santos, em 1709, tenha demonstrado perante a corte portuguesa a ascensão de um balão em escala reduzida. Jacques Alexandre César Charles testou com sucesso um balão de hidrogênio no Campo de Marte, em Paris, em 1783. Presente a esta demonstração estava o então embaixador americano na França, Benjamin Franklin, que perguntado sobre a utilidade do novo invento respondeu com a famosa frase “– Qual a utilidade de um recém-nascido?”. Esta frase também é muitas vezes atribuída a M. Faraday.

⁴Semelhantes aos *paddle boats* que navegam pelo rio Mississipi nos EUA.

⁵Arthur Constantin Krebs (1850-1923) e Charles Renard (1847-1905) projetaram e voaram em um balão em circuito fechado com o auxílio de um motor elétrico em 1884. Porém a dirigibilidade completa de um balão foi comprovada por Santos Dumont a partir do seu dirigível n. 3, em 1899.

⁶Otto Lilienthal (1848-1896), engenheiro alemão, pioneiro da aviação e precursor dos estudos teóricos e experimentais acerca da aerodinâmica de asas. Exerceu forte influência sobre estudiosos de sua época, em particular Nikolai J. Zhukovsky (1847-1921), um dos mais importantes nomes da aerodinâmica do século XX que visitou Lilienthal em Berlim e é considerado o pai da escola russa de aeronáutica. A influência de Lilienthal sobre Octave Chanute (1832-1910) também foi muito grande. Chanute, que emigrou ainda quando criança junto com os pais da França para os EUA, é considerado o grande enciclopedista da aeronáutica (termo por ele criado) do século XIX e o professor dos irmãos Wright. Georg Wellner (1846-1909), engenheiro tcheco de origem austríaca, professor da Universidade de Brno (antiga Brünn). Pioneiro no estudo de helicópteros.

⁷No original Boltzmann o chama de “princípio do plano inclinado”. Para evitar confusão com o plano inclinado, optou-se pelo termo acima. O princípio ao qual ele se refere na verdade é o conhecido Princípio de Bernoulli da dinâmica de fluidos: o aumento da velocidade de um fluido que escoar sobre uma superfície é acompanhado por uma diminuição da pressão que o mesmo exerce sobre ela. Lilienthal percebeu experimentalmente a importância do uso de perfis curvos para as asas, embora não tenha conseguido explicar corretamente o porquê disto.

contrado nas aves, em particular nas grandes, quando, como já pude citar, elas alcançam uma considerável velocidade e voam livremente pelos ares sem bater as asas - o chamado vôo planado. A velocidade horizontal de um aeroplano pode ser atingida ou pelo bater de asas ou através das já conhecidas hélices, que agora são usadas para mover [o aeroplano] não para cima mas para a frente.

O Sr. Kress fez a gentileza de me fornecer um pequeno modelo por ele criado há 14 anos⁸. Ele próprio fará perante os Srs. uma demonstração colocando-o em movimento e ilustrando o princípio de modo mais claro que qualquer número de palavras seria capaz. Num problema tão complexo é fundamental que se busque a maior simplificação possível dos meios disponíveis. Uma vez que o movimento horizontal tem que ser obtido pelos mesmos métodos quaisquer que sejam os aparelhos voadores, o aeroplano representa a máquina voadora mais simples capaz de produzir um empuxo sem a necessidade de mecanismos extras. Ela se baseia essencialmente no aparato já comprovado das aves de rapina e tem assim, já do começo, as melhores perspectivas de sucesso.

Foram construídas várias máquinas voadoras, todas elas baseadas essencialmente na combinação de diferentes tipos básicos: inumeráveis hélices, que juntas formavam uma superfície inclinada; rodas com superfícies inclinadas que giravam com um comando apropriado; a combinação de balões com sistemas de vôo dinâmicos, etc., etc.. Longe de mim poder ou querer fazer um julgamento completamente autoritativo de todos estes aparatos. Estou convencido porém que em função da sua complexidade as chances de sucesso são poucas. A experiência parece também confirmar isto. Na conferência de cientistas naturais ingleses realizada no mês passado em Oxford, uma máquina construída pelo Sr. Hiram Maxim e que nada mais é que a realização em escala maior da máquina do Sr. Kress aqui apresentada, foi motivo de grande polêmica⁹. Ambas as hélices são movidas por um máquina a vapor construída de maneira extremamente engenhosa¹⁰. A máquina toda, pesando 8000 libras inglesas¹¹ e com uma velocidade de 30 m/s, ou seja mais rápida que o mais veloz dos trens, realmente conseguiu erguer-se no ar uma vez. Maxim deu assim o segundo grande passo na invenção de um aparelho aéreo dirigível: ele provou que é possível levantar livremente no ar grandes cargas através de um aparelho aéreo dinâmico. Os grandes físicos ingleses, todos teóricos, como Kelvin, Lord Rayleigh, Lodge,

etc. pronunciaram-se com grande admiração sobre a máquina de Maxim e cheguei a pensar que novamente os ingleses iriam poder reclamar para si uma destas invenções que marcam toda uma época.

Mas há aqui um porém: a máquina de Maxim movia-se inicialmente como uma locomotiva sobre trilhos e uma vez atingida a velocidade necessária ficava presa por baixo de outros trilhos, construídos que foram especialmente com este propósito por cima dos primeiros. Devido ao grande empuxo um destes trilhos se rompeu antes do esperado e a máquina elevou-se no ar - seus vários lemes não puderam ser acionados a tempo e a máquina teve que ser brecada o mais rápido possível, quando então ela sofreu pesadas avarias. O grande senão de todos estes experimentos é o perigo que eles representam. Como Maxim pode dizer em sua palestra, com um certo tom de irritação, o aviador não tem que ser apenas técnico: é preciso também ser acrobata¹². Imaginem uma gigantesca área que se mova tão rapidamente que a resistência do ar atinja 10.000 libras¹³ e julguem quanto de perturbação uma simples lufada de ar, um redemoinho, pode causar num aparelho que, sem qualquer ponto de apoio, balança livremente no ar, o quão colossal pode ser a influência de cada mudança na inclinação, de cada mudança na posição do todo. Se estudarmos a multiplicidade e precisão de detalhes do movimento das aves de rapina pelos ares, se lembrarmos de quantas piruetas uma pipa realiza ao menor descuido de quem a manobra, podemos nos imaginar na situação de um aviador, cujo aparelho se torna tão incontrollável como nestes exemplos.

É certo que ficou provado que a força dos aeroplanos é suficiente para elevar grandes cargas pelos ares e que manobrá-lo de maneira correta é apenas uma questão de habilidade. Quem já viu a segurança com que se pode manobrar um gigantesco transatlântico com apenas alguns homens, quem já presenciou como um pistão de 50 toneladas pára a poucos milímetros do mostrador de um relógio sob ele colocado, como se tivesse recebido uma ordem, não poderá duvidar que também uma máquina voadora poderá ser manobrada tão logo tivermos angariado experiência suficiente. Porém, como fazê-lo sem colocar a vida de homens em risco? Ousariamos entregar o comando de um navio a um homem, por mais inteligente que ele fosse, para que ele o manobrasse entre perigosos rochedos, após termos simplesmente dado a ele uma explicação teórica do maquinário, embora outros já tenham antes testado a máquina? Nos vem à mente um velho di-

⁸Wilhelm Kress (1836-1913), originalmente construtor de pianos, nascido na Rússia mas de origem austríaca, pioneiro da aviação e inventor do manche utilizado nos aviões. Em 1901 testou sem sucesso um avião anfíbio que não decolou em função do peso de seu motor. Suas pesquisas foram seriamente afetadas pela falta de apoio financeiro.

⁹Hiram Maxim (1840-1916), americano, mais conhecido por ter inventado a metralhadora. Quando faleceu tinha 271 patentes reconhecidas em seu nome, entre elas a de isolantes acústicos.

¹⁰O motor de Maxim utilizava uma câmara de combustão de gasolina para aquecer a água.

¹¹Com uma massa de 3632 kg, a máquina de Maxim era gigantesca: 61m de comprimento, 32,5 m de envergadura e cada uma de suas hélices tinha 5,5 m de diâmetro.

¹²Maxim construiu um sistema duplo de trilhos, sendo que o primeiro ficava rente à superfície e o segundo alguns centímetros acima dela. O propósito era que a manter a máquina próxima ao solo.

¹³Uma força de aproximadamente 40.000 Newtons.

tado popular Berlimense que talvez possamos aplicar à máquina de Maxim, não obstante seus geniais feitos¹⁴.

Toda invenção tem seus precursores e seus sucessores, que as melhoram. Porém na maioria das vezes se faz necessário dar o nome ao verdadeiro inventor. A quem caberia o título de inventor da aeronave dirigível? Maxim com certeza não, ainda. Esse título caberá somente àquele que conseguir realmente voar com e contra o vento numa direção escolhida arbitrariamente, enquanto a força motriz bastar (digamos uma hora)¹⁵.

Esta invenção ainda não existe. Mas já era hora de tirarmos os ingleses do pódio. Obviamente em termos de quantidade de recursos não temos como; a máquina de Maxim parece ter custado 30.000 Florins¹⁶. Mas quanto os alemães já não conseguiram com poucos recursos através da argucidade de suas idéias! Quem em Viena pode duvidar disto, o lugar onde a Flauta Mágica, a Nona Sinfonia e a Missa Solemnis foram compostas¹⁷? Eles que tentem nos copiar mundo afora, se é que conseguem!

Obviamente não quero dizer com isso que no futuro não devamos mais apoiar grandes alemães, como fizemos com Mozart¹⁸. Nem todos são geniais como ele foi, mas também nenhuma atividade humana é tão independente como a música. Ressel teve que abrir mão do uso e de metade da fama pela sua invenção em favor dos ingleses simplesmente por falta de apoio¹⁹. Eu, pelo contrário, na reunião do conselho da nossa jovem Sociedade de Cientistas Naturais, que aliás ainda está um pouco jogada ao sabor dos ventos, vou propor que ela use seus primeiros recursos para promover o transporte aéreo ou, caso seu dinheiro não seja o suficiente para tanto, convencer o governo a fazê-lo.

O outro experimento que quero descrever como sendo o terceiro passo na criação de um aeroplano dirigível foi realizado por um alemão, Otto Lilienthal, um engenheiro em Berlim. As viagens de barco não tiveram início com os transatlânticos, mas com canoas esculpidas de troncos de árvores. Da mesma maneira, o Sr. Lilienthal começou com um aparelho simples. Ele armou seus braços com duas asas, fortemente ligadas uma a outra, com 15 m² de área e que essencialmente imitavam as asas de um pássaro. Trata-se de um aeroplano, que com uma velocidade grande o suficiente é capaz de car-

regar um homem. Em função da velocidade que conseguia atingir Lilienthal pode dispensar o uso de qualquer tipo de motor – ele simplesmente correu um certo trecho contra o vento e pulou, apoiado sob suas asas, no ar. Naturalmente por não dispor de uma força motriz, ele não pôde ir tão longe quanto queria e apenas alcançou uma altura relativamente limitada. Mas começando com saltos pequenos ele aos poucos os foi aumentando, mas sempre se mantendo o mais próximo possível do chão. Deste modo ele conseguiu planar por um trecho de 250 metros pulando de uma ligeira elevação em Rhinow²⁰. Ali ele se convenceu do perigo de ser derrubado ou virado por uma rajada de vento, mas também da possibilidade de se conseguir uma segurança completa na pilotagem através da prática de anos, bem como de obter a dirigibilidade por meio da inclinação do corpo e movimento dos pés combinado com um leme fixo que imita o rabo das aves. O objetivo de Lilienthal era levar consigo apenas um pequeno motor: à medida que se aumentasse a potência, ele iria redimensionando o tamanho da asa e reajustando a manobrabilidade às novas condições até o ponto onde a velocidade atingida graças à força do motor fosse o suficiente para manter o aviador por longo tempo sobre o solo. Naturalmente este aeroplano tinha, a princípio, pouca importância do ponto de vista prático. Eram necessárias grandes melhorias e o traslado [do projeto] para escalas bem maiores para que as conseqüências sociais e econômicas por mim descritas no início surtisses efeito. Porém, do ponto de vista teórico, o problema estava resolvido e um caminho que levava ao objetivo tinha sido descoberto, ou seja a invenção por assim dizer de um aeroplano dirigível. Como normalmente ocorre, a descoberta teórica do caminho a seguir precede a realização prática. Teriam os primeiros telégrafos e as primeiras fotografias uma importância prática, teria a descoberta da América tido tão grandes conseqüências econômicas, caso o caminho que a elas nos conduziram tivessem sido tão difíceis como o foi para Colombo?

Devo ainda dizer que o Sr. Kress desenvolveu um outro aparato, baseado em outros princípios, que tem boas chances de sucesso, embora ainda não tenha sido testado e tenha sido desenvolvido sem se pensar [no transporte] de cargas maiores.

¹⁴Provavelmente Boltzmann se refere a um conhecido ditado Berlimense que diz “não é vergonha cair; vergonha é não se levantar”, em crítica a H. Maxim, que parece ter desistido do intento logo no primeiro fracasso.

¹⁵Santos Dumont realizou em 19 de outubro de 1901 um vôo em circuito fechado de 11 km com seu dirigível número 6, contornando a Torre Eiffel e retornando ao ponto de partida nos estipulados 30 minutos. Isso lhe rendeu o Prêmio Deutsch, cuja dotação de 100 mil francos ele distribuiu seus mecânicos e a população pobre de Paris. Provavelmente Boltzmann leu sobre este feito e teria sido certamente interessante saber sua opinião acerca do inventor brasileiro.

¹⁶O salário anual de um professor renomado como Boltzmann era de 7000 Florins.

¹⁷A primeira de Mozart, as duas últimas de Beethoven.

¹⁸Mozart era austríaco, de Salzburg. Porém o termo “alemão” à época de Boltzmann tinha uma conotação mais geral, referindo-se aos povos de cultura e língua germânica.

¹⁹Joseph Ludwig Franz Ressel (1793-1857), engenheiro florestal austríaco, nascido em Chrudim (atual República Tcheca), e inventor da hélice de propulsão para navios.

²⁰Localidade próxima à Berlim. O morro em questão chama-se Gollenberg. Neste local, em 9 de agosto 1896, Lilienthal sofreu uma queda de aproximadamente 15 metros quando foi surpreendido por uma térmica que o jogou para cima e fê-lo perder o controle do planador, vindo a falecer um dia depois em função da gravidade do ferimento – a fratura da terceira cervical.

No que diz respeito ao tipo de aparelho que deve ser utilizado para conseguir velocidades horizontais, as opiniões são divergentes. Todos os motores utilizados trabalham no assim chamado sistema cíclico, quer dizer um tipo de movimento onde todos as peças do motor, depois de um certo tempo, retornam à posição inicial. Há dois tipos de sistemas cíclicos, a saber os rotatórios e os que vão e voltam. Os diferentes tipos de rodas e os dínamos indutores são exemplos do primeiro tipo de motor, enquanto que os pistões das máquinas a vapor ou as bombas são um exemplo do segundo. Na navegação aquática, quando se usa pás rotatórias, está se empregando o primeiro tipo de sistema. Os remos e as nadadeiras dos peixes empregam o segundo tipo. Lilienthal privilegia o segundo método quando se trata de voar, como aliás o fazem as aves, ao passo que o primeiro sistema, ou seja o uso de hélices para a obtenção de um deslocamento horizontal não tem análogo na natureza. Deve-se notar porém que na construção de aparelhos ópticos ou acústicos, de bombas ou máquinas que provoquem um movimento para frente, os órgãos animais só podem servir de modelos limitados, uma vez que a natureza faz uso de métodos tortuosos e busca objetivos tortuosos. Ou seja, aparelhos rotatórios lhe são completamente desconhecidos, ao passo que nossas pás giratórias e hélices substituem com grande sucesso o movimento para frente e para trás das nadadeiras dos peixes e o velocípede o ir e vir de nossos pés.

De acordo com Lilienthal o aeroplano deve ser dividido em duas metades, que se movem como as asas dos pássaros em vôo. Com isto se evita o deslizar da hélice (o chamado *slip*) e a perda de potência causada pela criação de redemoinhos. Lilienthal crê que deste modo a perda de potência no ar seria menor²¹. Eu particularmente tenho minhas dúvidas, pois com o bater das asas grande parte do trabalho gasto para baixá-las é perdido ao levantá-las novamente, ao passo que com a hélice o princípio do empuxo aerodinâmico é otimizado. Na verdade, a máquina de Maxim opera num regime de *slip* muito pequeno. De modo contrário, a divisão do aeroplano em duas partes móveis prejudica muito a simplicidade e a solidez do mesmo, uma vez que o bater de asas não pode ser obtido sem grandes complicações e sem um considerável atrito, além do que ele não funciona de maneira tão contínua ou tão precisamente regulável como uma hélice. Além do mais, o cálculo teórico do bater das asas é deveras complicado.

Parece-me assim que o princípio do aeroplano movido a hélice é, teoricamente, o mecanismo com maio-

res chances de sucesso e o único até o momento capaz de realmente fazer decolar tanto modelos em pequena quanto em grande escala.

É inacreditável como os resultados nos parecem naturais e simples uma vez descobertos, e quão difíceis são os caminhos que a eles conduzem enquanto ainda não descobertos. Do mesmo modo a dirigibilidade dos aeroplanos, uma vez conhecida, será facilmente obtida pelas mãos de técnicos. Inventada porém ela só poderá ser por um gênio de primeira grandeza. E este inventor não deverá ser apenas um gênio, ele tem que ser também um herói. Só a duras penas poder-se-á desvendar os segredos dos elementos ainda não conquistados. Apenas aqueles que possuem a bravura de confiar sua vida a estes novos elementos e a arte de vagarosamente se esquivar de suas armadilhas terá a chance de derrotar o dragão que ainda hoje esconde do homem o segredo desta descoberta²². O inventor do aeroplano manobrável obrigatoriamente seguirá o exemplo do maior de todos os descobridores, Cristovão Colombo, que não apenas pela sua bravura mas também pela sua intuição definiu o exemplo a ser seguido por todos os descobridores do futuro. “Se não colocares sua vida na empreitada, nunca atingirás grandes objetivos”. Deixe que aqueles que não conhecem o suficiente as maravilhas da tecnologia do nosso século riam das tentativas de voar; guardemos no coração as palavras que o maior dos poetas dedicou ao maior dos descobridores:

*Adiante, intrépido navegador, ainda que de ti riam,
ainda que o timoneiro baixe a covarde mão,
sempre, sempre a Oeste, lá onde a costa se mostra,
lá ela está, tremulando, límpida, em sua mente.
Confie no Deus que te guia e siga o silencioso mar.
Se ainda não, logo por entre as velas ela surgirá.
A natureza tem um pacto eterno com o Gênio.
O que uma promete, o outro com certeza cumprirá²³.*

Além de estar convencido e ter a coragem, falta ainda uma coisa importante, que Colombo só conseguiu a duras penas: dinheiro.

Nota do Tradutor

Maiores informações sobre Santos Dumont podem ser encontradas em H.L. de Barros, *Santos Dumont e a Invenção do Vôo* (Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2003). As informações acerca dos outros pioneiros da

²¹O deslizar a que Boltzmann se refere (*propeller slip*) é um termo comum na aeronáutica e refere-se a eficiência da hélice. O *slip* S é calculado pela diferença entre a distância que hélice deveria ter andando s_a , para um passo fixo e uma rotação completa, e quanto ela realmente andou s_r , dividido pela primeira, quer dizer $S = (s_a - s_r)/s_a$.

²²Boltzmann usa aqui novamente um termo de duplo sentido, *Drachen*. Este termo pode ser traduzido como dragão ou planador. Boltzmann pode assim referir-se ao mesmo tempo ao ser mitológico que dorme sobre um tesouro - neste caso a invenção do avião - mas também conquistar o planador, ou seja, dominar a arte de voá-lo

²³Poema de Friedrich Schiller intitulado *Colombo*, que na verdade Boltzmann cita de cabeça, pois alguns trechos diferem do original e duas estrofes faltam. O texto aqui apresentado é o poema completo. Boltzmann era grande admirador da obra do poeta alemão e o citava constantemente em seus escritos.

aviação me foram gentilmente disponibilizadas pelo Dr. Bernd Lukasech, do Museu Otto Lilienthal em Anklam, Alemanha. A palestra *Über Luftschiffahrt* foi apresentada por Boltzmann por ocasião de sua participação no 66^o Congresso da Sociedade Alemã de Cientistas Naturais e Médicos, em 1894, na cidade de Viena. O texto aqui apresentado é uma tradução direta desta edição. Alguns erros tipográficos foram corrigidos e termos técnicos foram colocados em linguagem corrente, quando possível. Para maiores informações acerca das pessoas às quais Boltzmann se refere, v. o texto *Boltzmann e a Arte de Voar* nesta edição da RBEF, na p. 319.

Quanto à referência a Gauss no início da palestra: o problema ao qual Boltzmann se refere é o da construção de um polígono regular utilizando-se apenas régua e compasso, em outras palavras através de equações algébricas de 1^o e 2^o graus. O termo “divisão

do círculo” se refere ao fato de que dividir um círculo em partes iguais é o mesmo que determinar os vértices de um polígono regular nele circunscrito. Este problema, que desafiou os matemáticos por séculos, foi brilhantemente resolvido por Gauss para o polígono de 17 lados, tornando-o, aos 19 anos de idade, famoso da noite para o dia. Cinco anos depois ele chegou a um resultado geral: polígonos regulares só podem ser construídos com régua e compasso se o número de lados L for igual a um número primo de Fermat ($F_n = 2^{2^n} - 1$) ou o produto de uma potência de 2 e qualquer número de primos de Fermat distintos. Apenas 5 primos de Fermat são conhecidos: $F_0 = 3$ (portanto é possível dividir o círculo em três partes iguais usando-se apenas um compasso e uma régua); $F_1 = 5$ (pentágono), $F_2 = 17$ (heptadecágono, a solução original de Gauss). Os outros são $F_3 = 257$ e $F_4 = 65537$. A sequência de polígonos circunscritos é $L = 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 24 \dots$