

A Influência do Vôo dos Pássaros no Desenvolvimento da Aerodinâmica

Atila P. Silva Freire

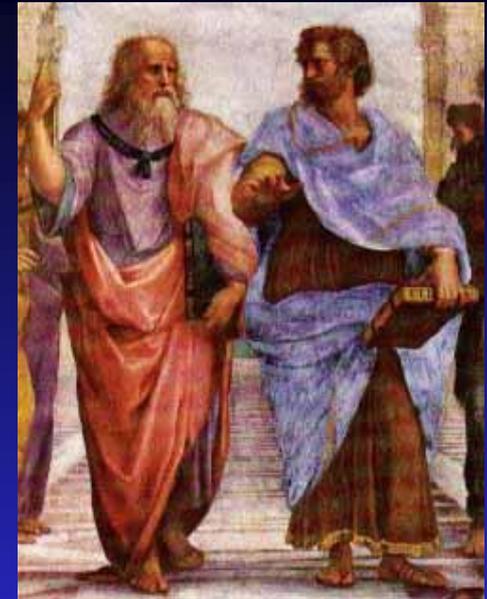
Programa de Engenharia Mecânica

COPPE/UFRJ

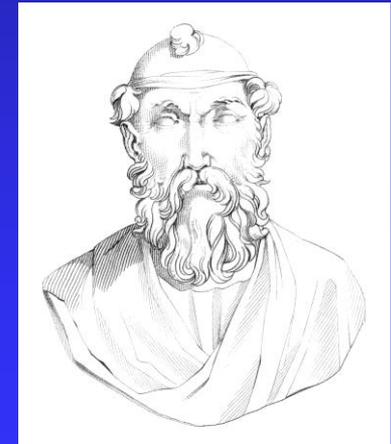


350 A.C. Aristóteles descreve o modelo de um meio contínuo e sugere que um corpo que se mova neste meio deve experimentar uma resistência (Stagira, Macedônia, 384-322 A.C)

250 A.C. Arquimedes sugere que um fluido pode ser colocado em movimento pela ação de uma diferença de pressão exercida sobre ele. (Siracusa, Sicília, 287-212 A.C.)



Hieron II





MECÂNICA DA
TURBULÊNCIA

A Biblioteca de Alexandria (700.000 manuscritos)



Ptolemy I Soter, 367-283 A.C.



Ptolemy II Philadelphus, 308-246 A.C.



Demetrius of Phalerum, 350-? A.C.



Cleopatra VII, 69-30 A.C.



Julius Caesar, 100-44 A.C.



1490 Contribuições de Leonardo da Vinci

1. Lei da continuidade.
2. Observações e desenhos de vários padrões de escoamento, constituindo-se na primeira contribuição qualitativa para a mecânica dos fluidos experimental.
3. Afirmação do “Princípio do túnel de vento”.
4. Afirmação de que a resistência do ar é diretamente proporcional à área exposta do corpo.
5. Introdução do conceito de formas aerodinâmicas para reduzir o arrasto.





A Aerodinâmica de Leonardo da Vinci (1488-1514)

“Nenhum conhecimento pode ser certo se não for baseado em matemática ou em outro conhecimento ele próprio baseado nas ciências matemáticas.”

“Que nenhum homem que não seja um matemático leia os elementos de meu trabalho.”

Codex sobre o voo dos pássaros

“um pássaro é um instrumento que funciona de acordo com as leis matemáticas, um instrumento dentro da capacidade do homem de ser reproduzido em todos os seus movimentos, embora não com o correspondente grau de resistência, por sua deficiência na potência de manter o equilíbrio. Podemos então dizer que a tal instrumento construído pelo homem nada falta exceto a vida de um pássaro, e que esta vida deve portanto ser fornecida através daquela do homem.”

A afirmação acima levou à construção do ornitóptero.

Codex Trivultianus

“Quando a força gera mais velocidade que o alívio da resistência do ar, o mesmo é comprimido da mesma forma que os colchões de pena são comprimidos e esmagados por uma pessoa que dorme.”

1ª tentativa de explicar o conceito de sustentação.



Codex Atlanticus

“O ar a altas velocidades que atinge um corpo é comprimido proporcionalmente à sua velocidade”.

1ª tentativa de quantificar a força aerodinâmica.

Codex E

“Que qualidade de ar cerca os pássaros em vôo? O ar circundando os pássaros é menos espesso acima deles que a espessura de outros ares, e abaixo mais espesso que mesmo o ar, e é menos espesso atrás do pássaro que acima dele em proporção à velocidade do pássaro em seu movimento avante, em comparação com o movimento das asas em relação ao solo; e, do mesmo modo, a espessura do ar na frente do pássaro é maior que a espessura do ar abaixo dele, em proporção à dita espessura dos ditos ares”.

1ª tentativa de quantificar altas e baixas pressões.

Codex Atlanticus

“Mover o objeto contra o ar parado é como mover o ar contra o objeto parado.” “A mesma força exercida pela coisa sobre o ar, é exercida pelo ar contra a coisa.”

Princípio da reciprocidade aerodinâmica. Princípio de funcionamento dos túneis de vento.



Codex Atlanticus

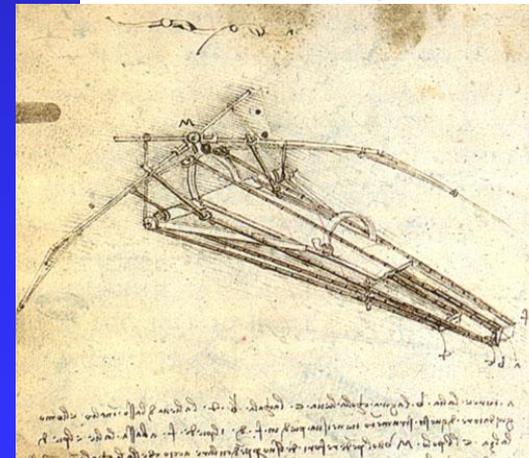
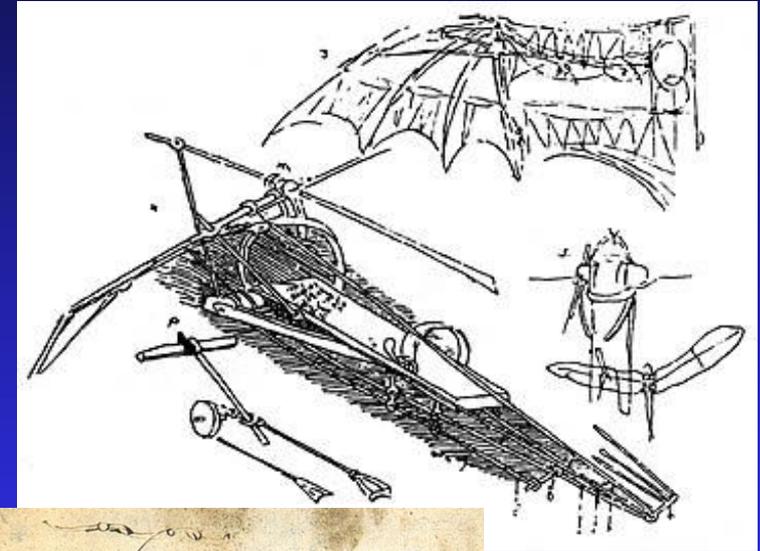
“Portanto, se o ar se move contra asas fixas, o mesmo ar suporta o peso dos pássaros através do ar.”

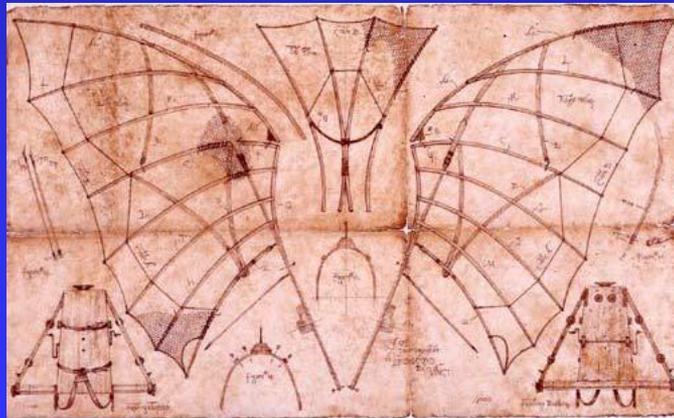
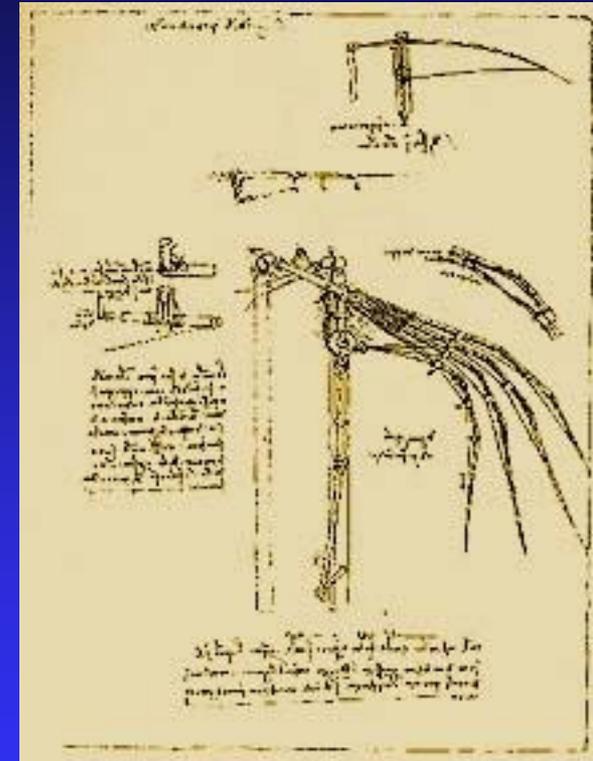
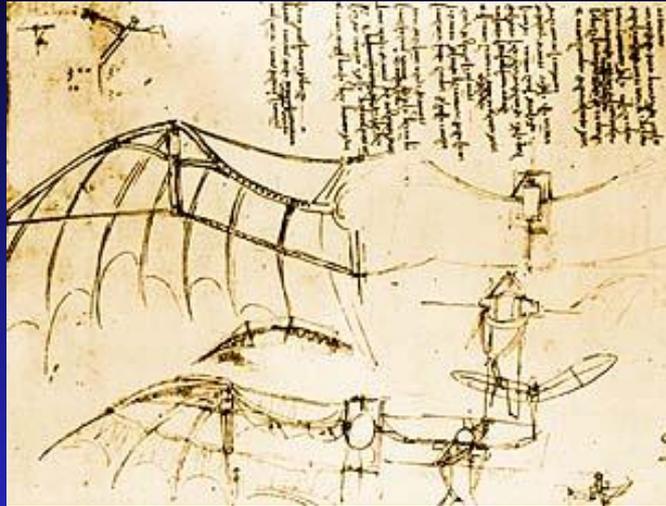
1ª admissão de um mecanismo separado de propulsão. Princípio das asas fixas.

Codex G, Codex Arundel

Desenhos de peixes e cascos de navios. Formas aerodinâmicas avançadas.

Introdução do conceito de corpos aerodinâmicos.





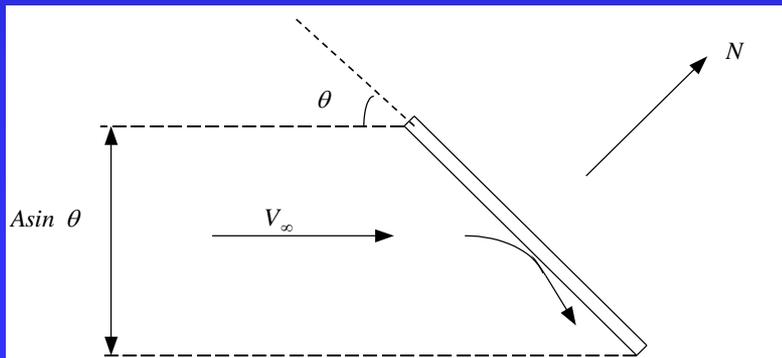
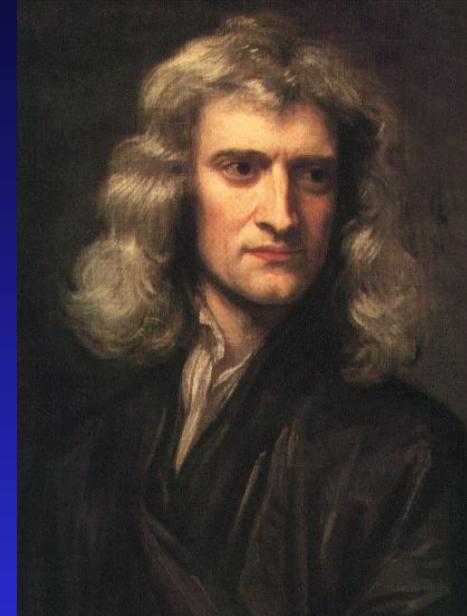


1600 Galileu foi o primeiro a entender que a resistência aerodinâmica varia diretamente com a densidade do fluido.

1673 Edme Mariotte, em Paris, afirma que a resistência aerodinâmica varia com o quadrado da velocidade.

1687 Isaac Newton apresenta a mecânica Newtoniana, o início da análise mecânica racional. Dedução da lei do quadrado dos senos para as forças aerodinâmicas.

1690 Christiaan Huygens publica em Paris dados experimentais consubstanciando a lei do quadrado dos senos para as forças aerodinâmicas.



$$\sum F = \sum \dot{m} v$$

$$N = (\rho_{\infty} V_{\infty} A \sin \theta) (V_{\infty} \sin \theta)$$

$$N = \rho_{\infty} V_{\infty}^2 A \sin^2 \theta$$

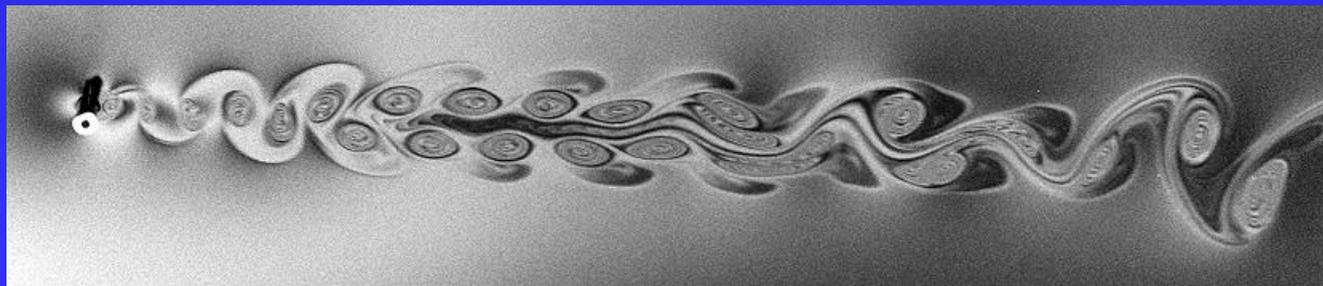
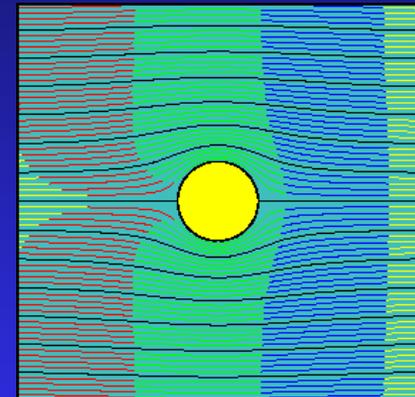
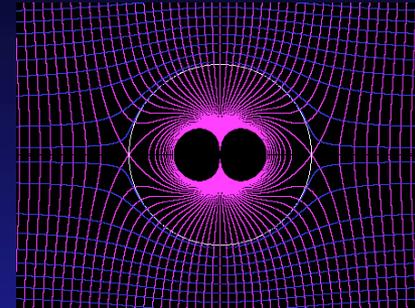


1732 Invenção do tubo de Pitot por Henri Pitot.

1738 O texto hidrodinâmica de Daniel Bernoulli é publicado. Estabelecimento de uma relação entre a velocidade e a pressão de um escoamento.

1744 Paradoxo de d'Alembert.

1752 Publicação das equações de Euler. Primeira modelagem correta de um escoamento não viscoso.





1759 John Smeaton estuda as forças em uma placa alinhada perpendicularmente a um escoamento. Introdução dos coeficientes de Smeaton para o cálculo de forças aerodinâmicas.



1763 Jean-Charles Borda, na França, é o primeiro a observar os efeitos de interferência aerodinâmica em dois corpos pouco espaçados.

1788 Joseph Lagrange introduz os conceitos de potencial de velocidade e de função corrente.

1789 Aparecimento da equação de Laplace para o tratamento de um escoamento não-viscoso, irrotacional e incompressível. Primeiro cálculo da velocidade do som.

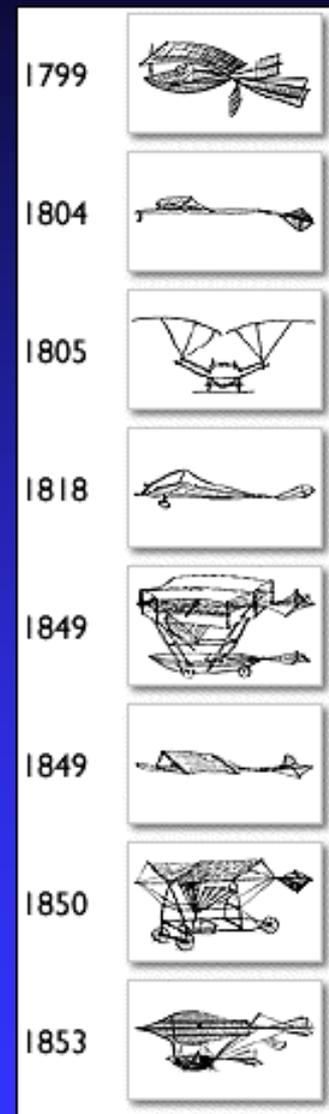


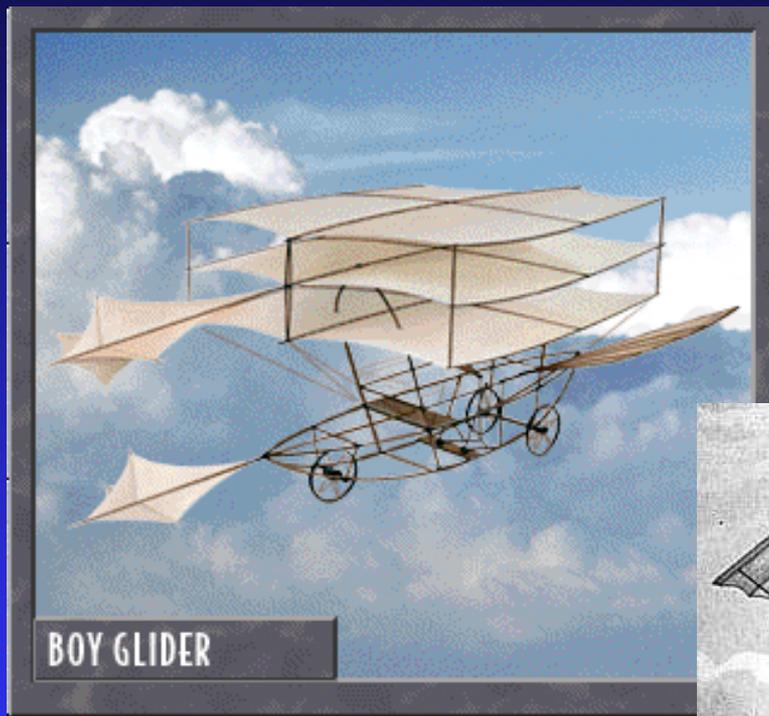


1799 George Cayley, na Inglaterra, introduz o conceito da configuração de um aeroplano em um disco de prata.

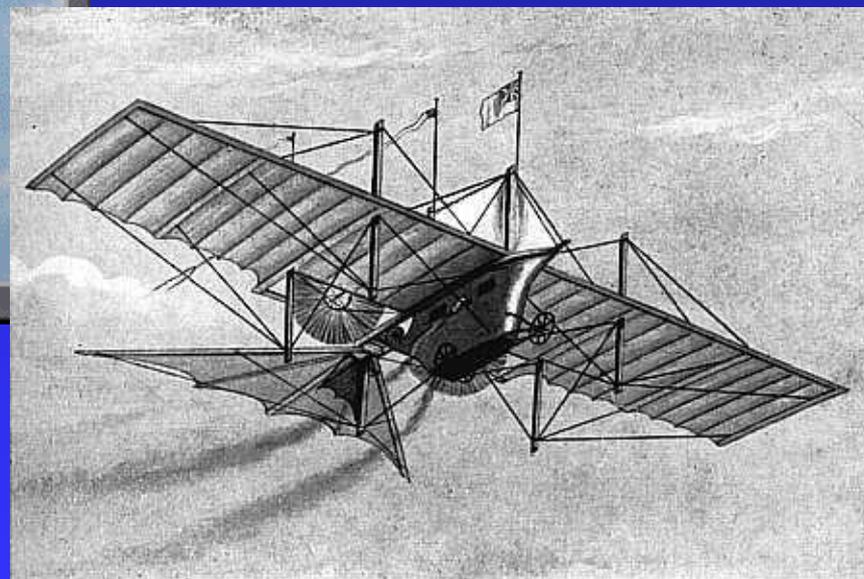
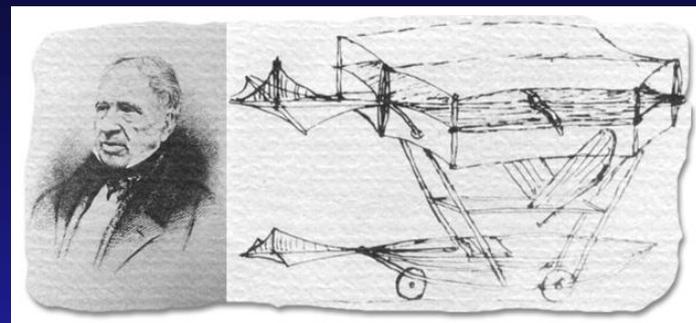
1810 Publicação dos 3 artigos de Cayley.

1840 Publicação das equações do movimento para um fluido viscoso. Equações de Navier-Stokes.





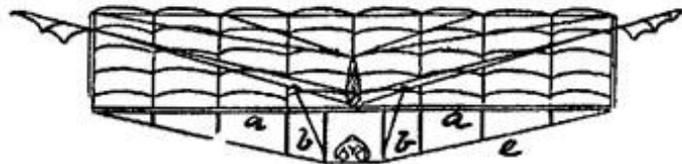
Cayley, 1853.



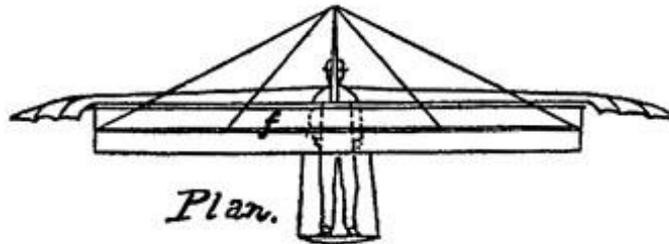
Henson, 1843.



F. W. Wenham
14 1866



End Elevation.



Plan.

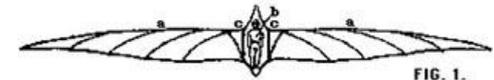


FIG. 1.



FIG. 2.



FIG. 3.

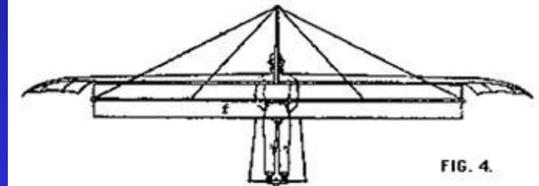


FIG. 4.

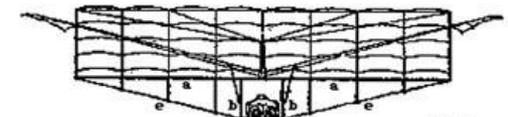


FIG. 5.

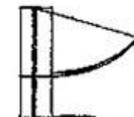
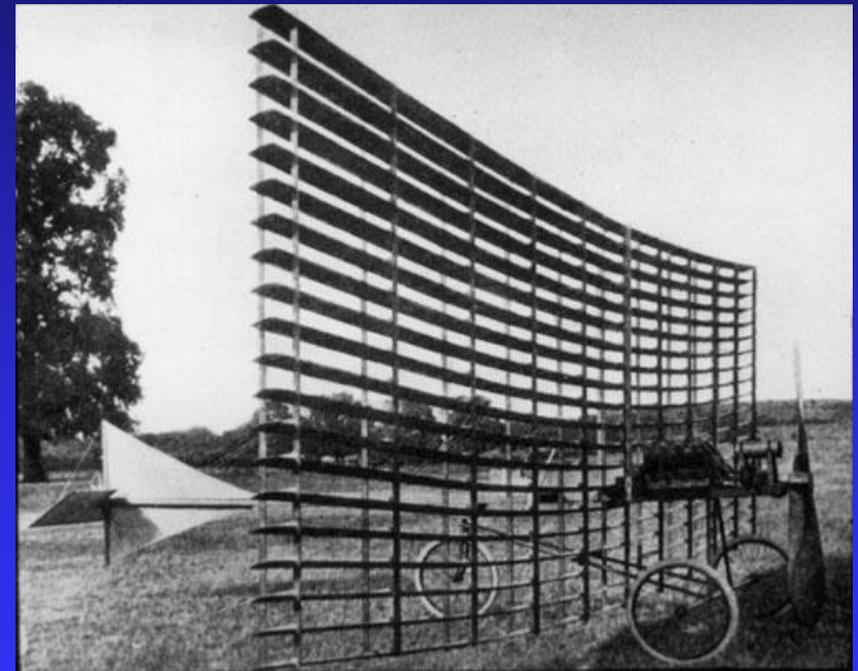
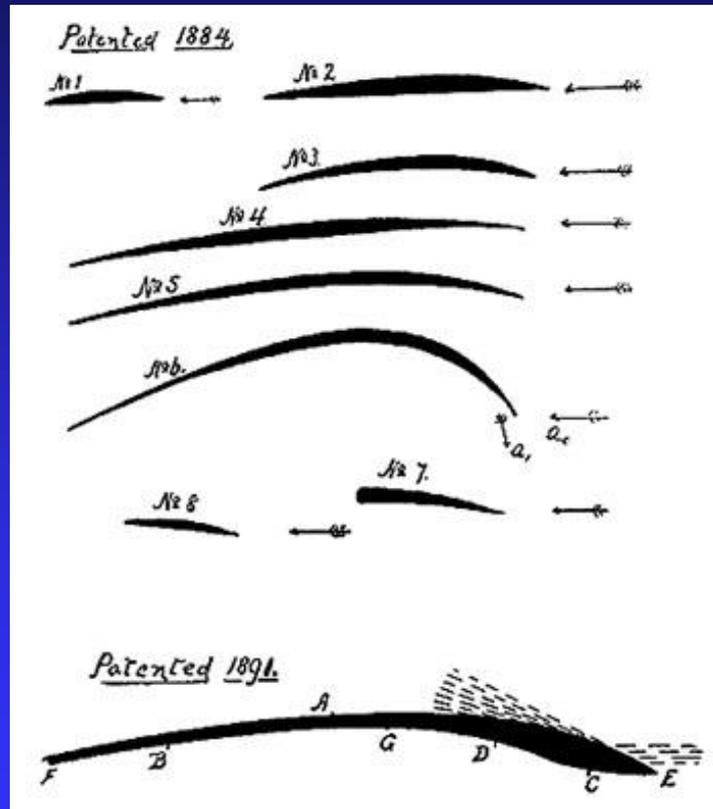
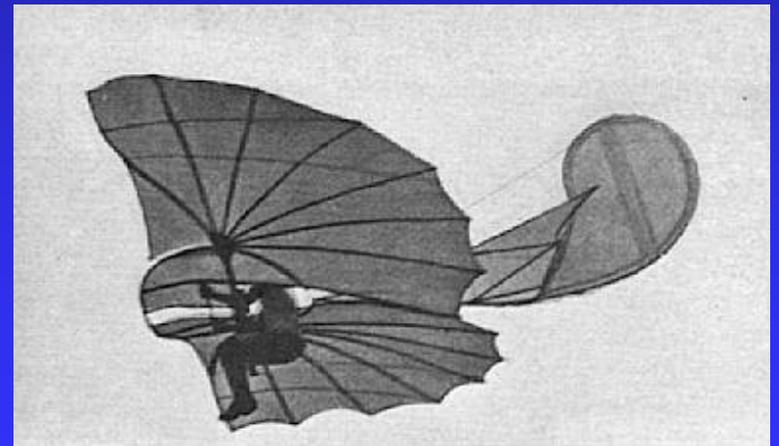
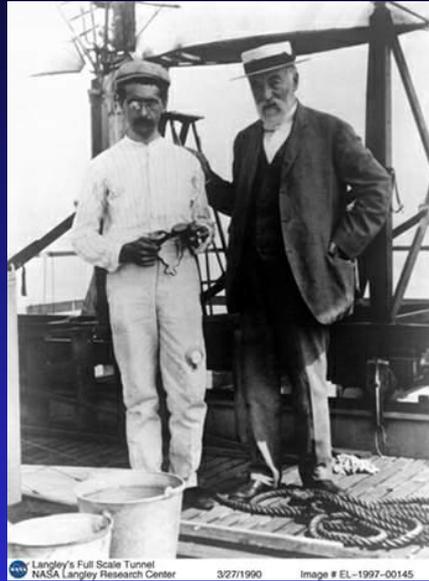


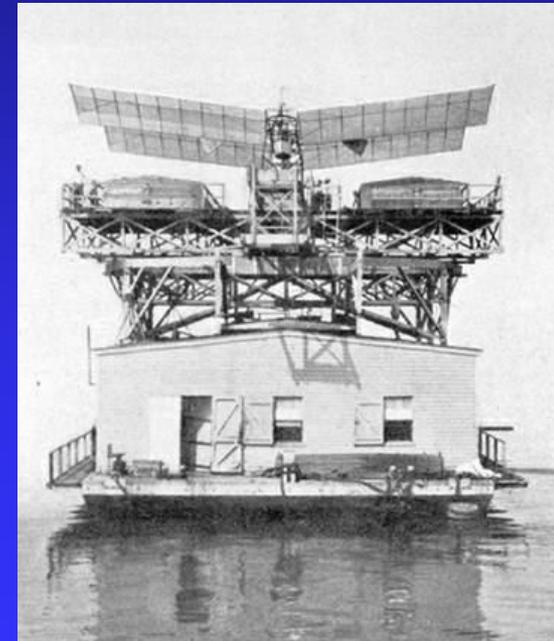
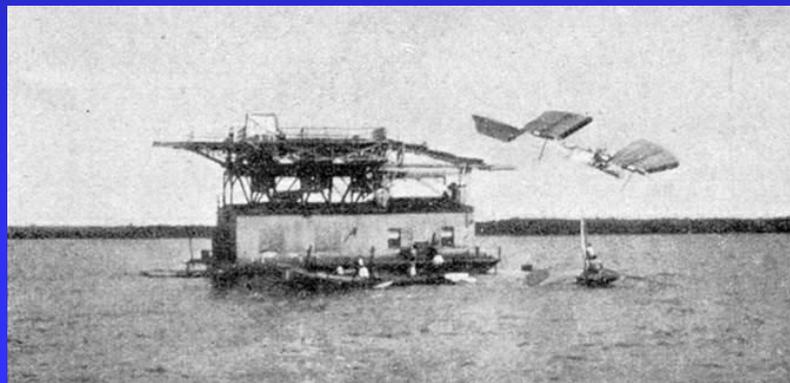
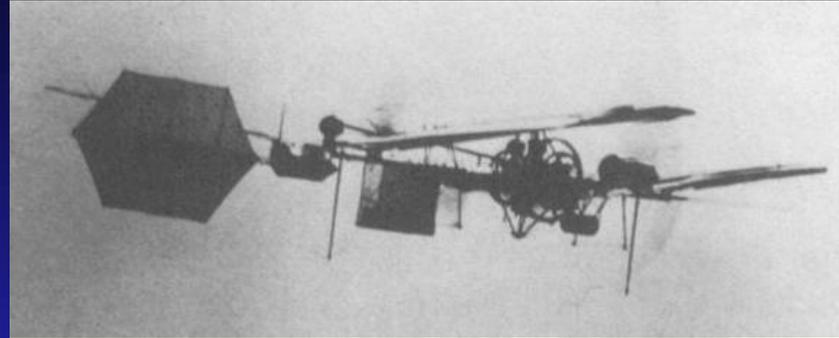
FIG. 6.

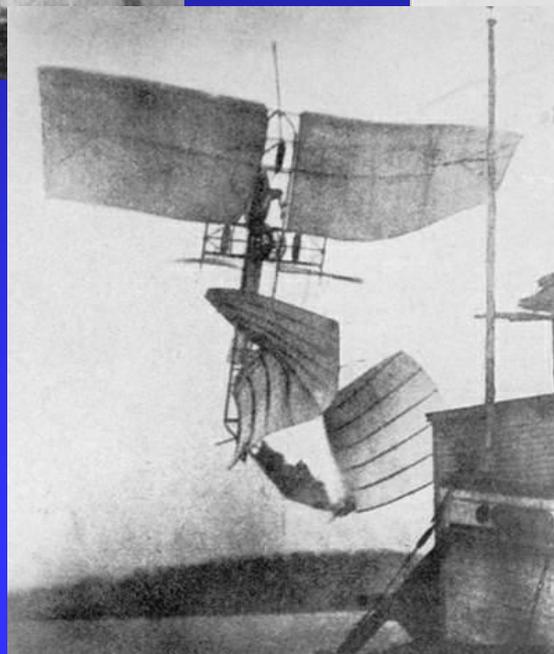
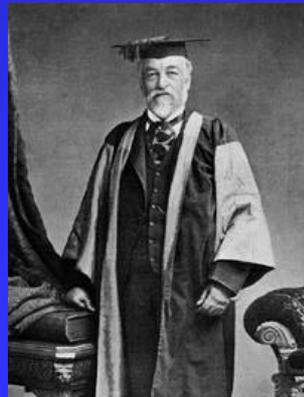
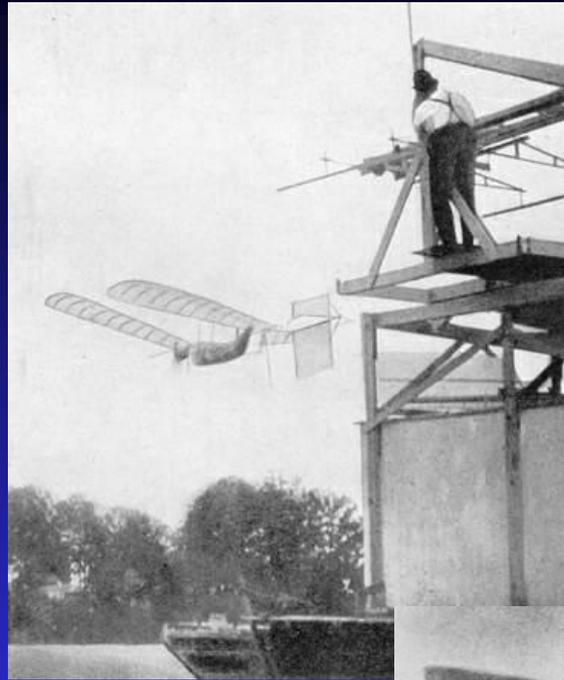






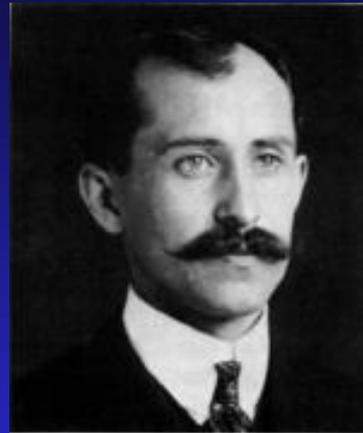
Langley's Full Scale Tunnel
NASA Langley Research Center 3/27/1990 Image # EL-1997-00145



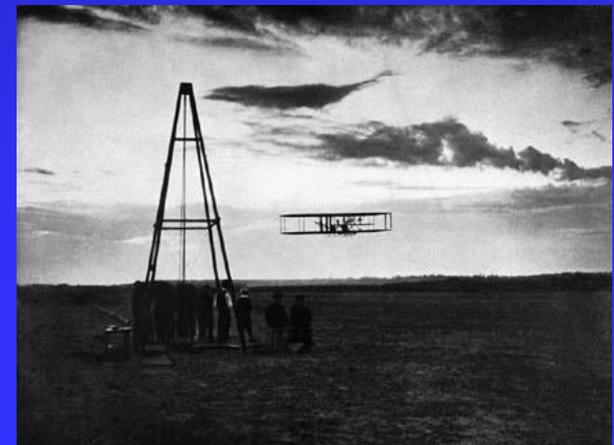
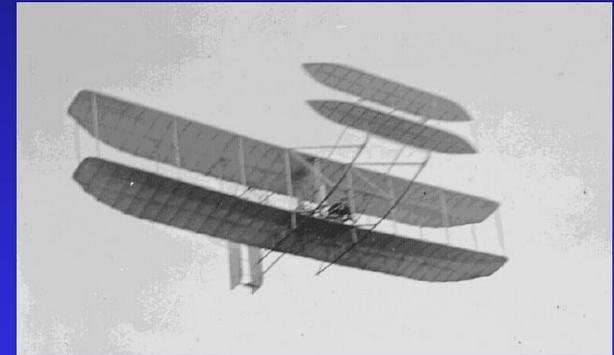
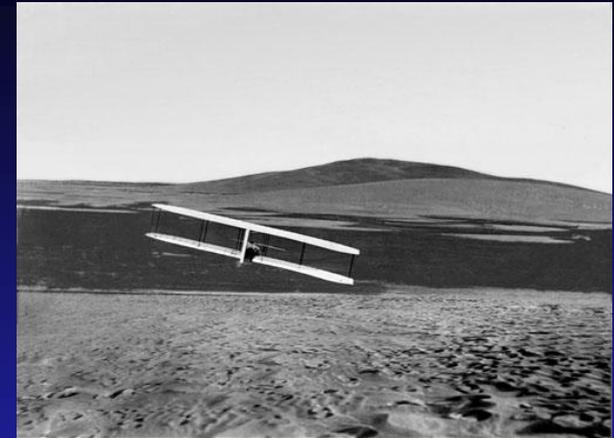




Wilburn, 1867.



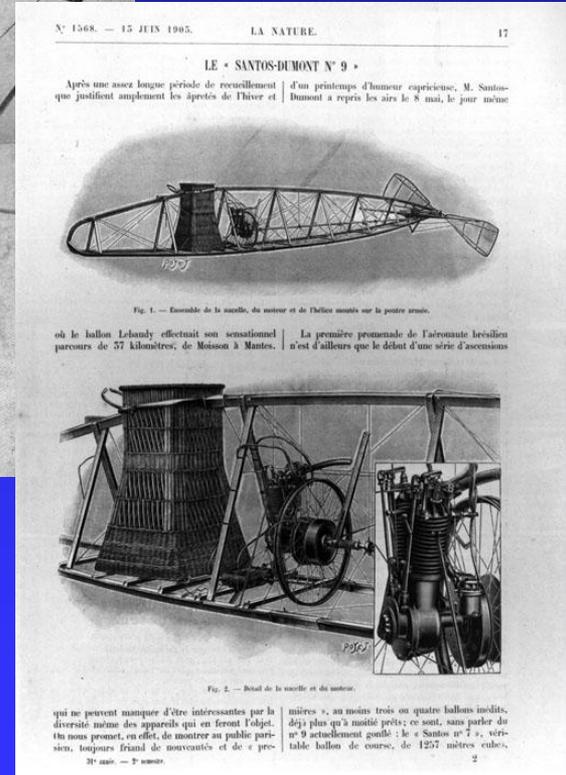
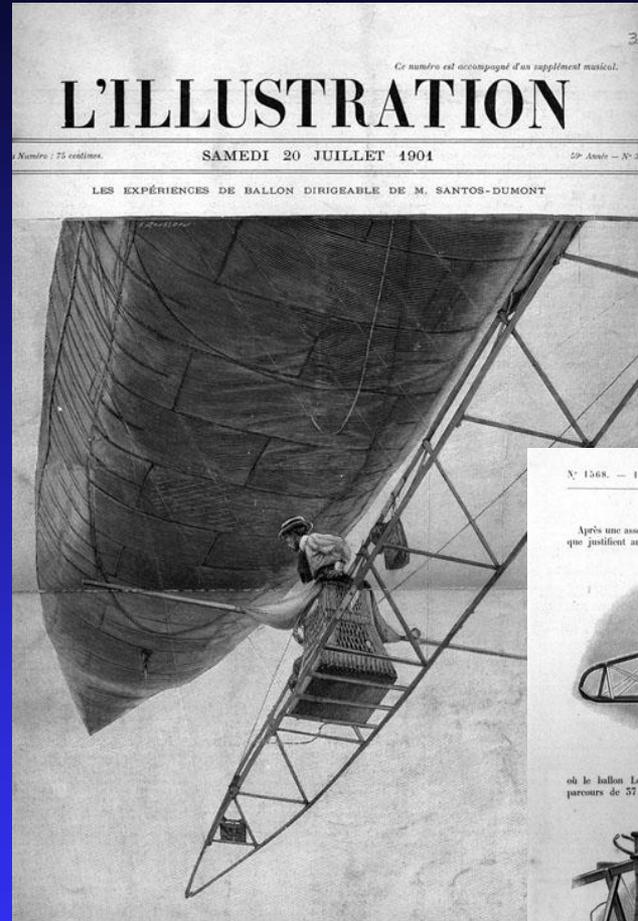
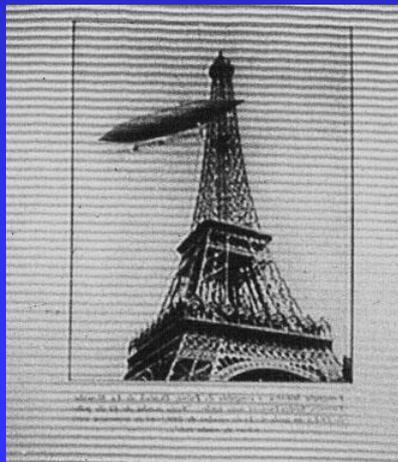
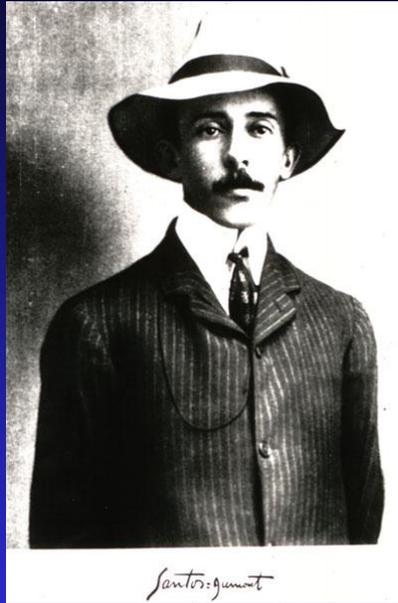
Orville, 1871.





MECÂNICA DA
TURBULÊNCIA

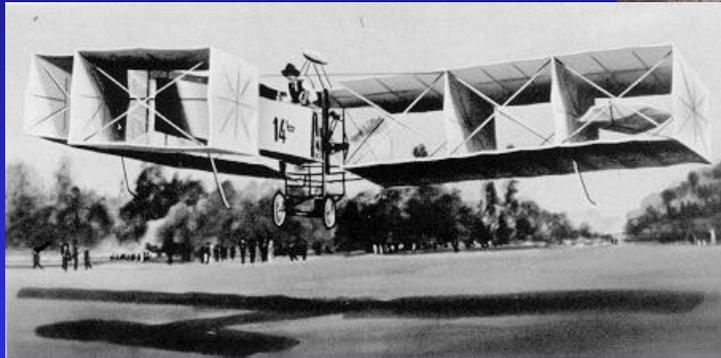
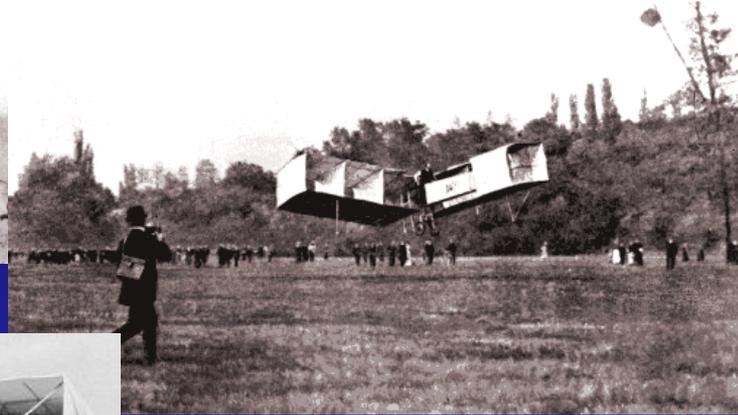
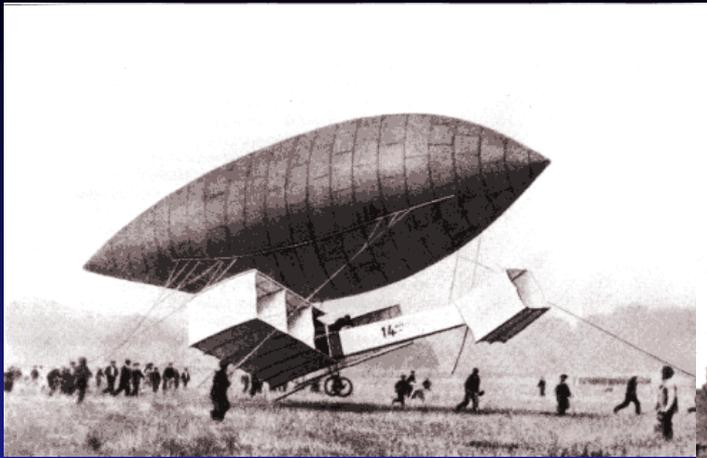
Alberto Santos Dumont, 1873.





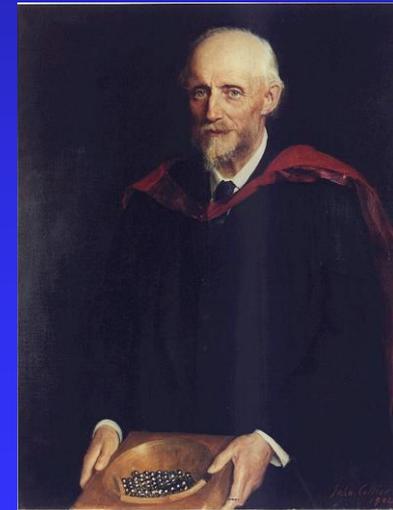
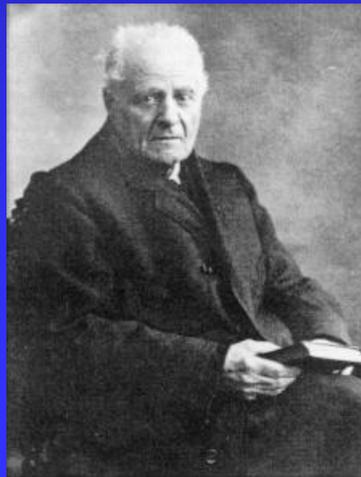
MECÂNICA DA
TURBULÊNCIA

14Bis, Demoiselle, 1906.





- **1840** **Barré de St. Venant:** $(\Delta P \sim AQ + BQ^2)$.
- **1865** **Bazin:** primeiros experimentos.
- **1877** **Boussinesq:** viscosidade turbulenta.
- **1883** **Reynolds:** número de Reynolds.
- **1894** **Reynolds:** decomposição do campo instantâneo em uma parcela média e outra flutuante.





1903 Primeiro vôo propulsado e tripulado. Irmãos Wright.

1904 Introdução do conceito de camada limite. L. Prandtl.

1906 A teoria da circulação para a sustentação é desenvolvida.

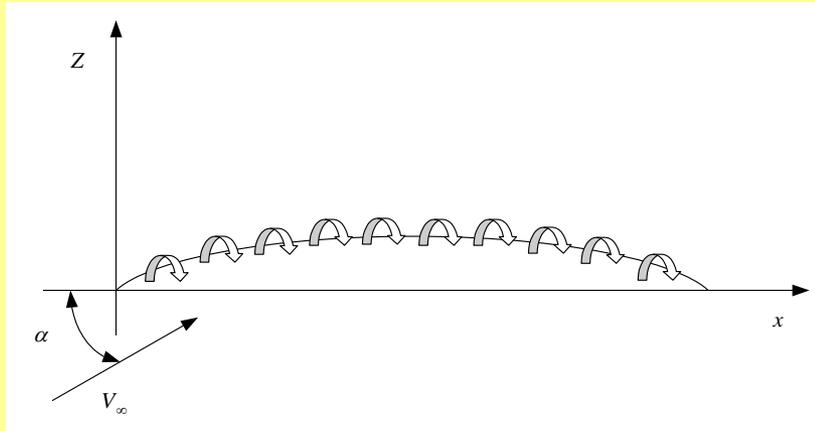
1915 Teoria do aerofólio fino. L. Prandtl.

1925 Teoria linearizada da aerodinâmica supersônica.

1940 Primeiras aplicações da teoria supersônica.

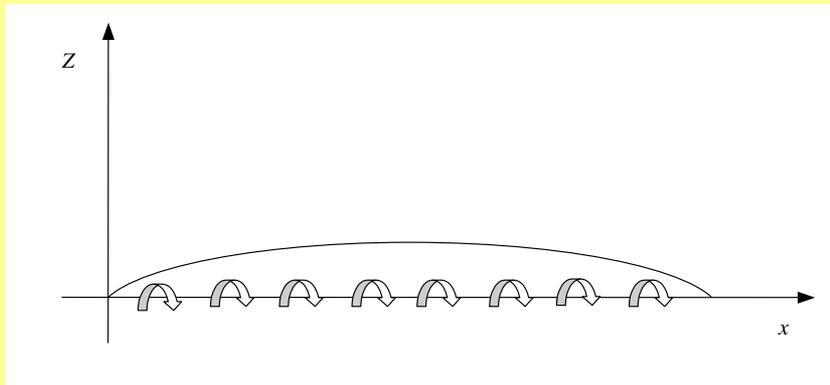
1955 Aerodinâmica supersônica.

1960 CFD



$$\frac{1}{2\pi} \int_0^c \frac{\gamma(\xi)}{x - \xi} d\xi = V_0 \left(\alpha - \frac{dz}{dx} \right)$$

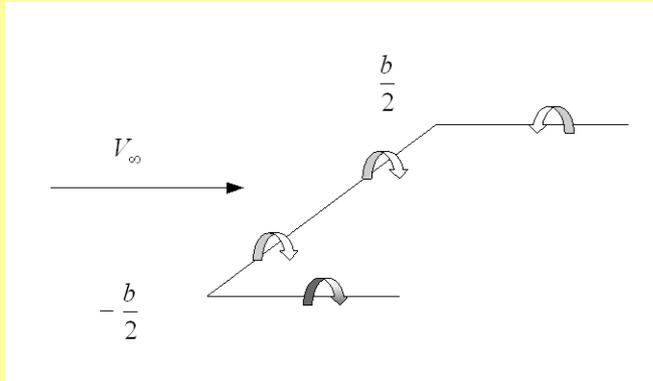
$$\gamma(\theta) = 2a V_\infty \left(\frac{1 + \cos \theta}{\sin \theta} \right), \quad \frac{dz}{dx} = 0$$



$$L = C_L \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 (c)(l)$$

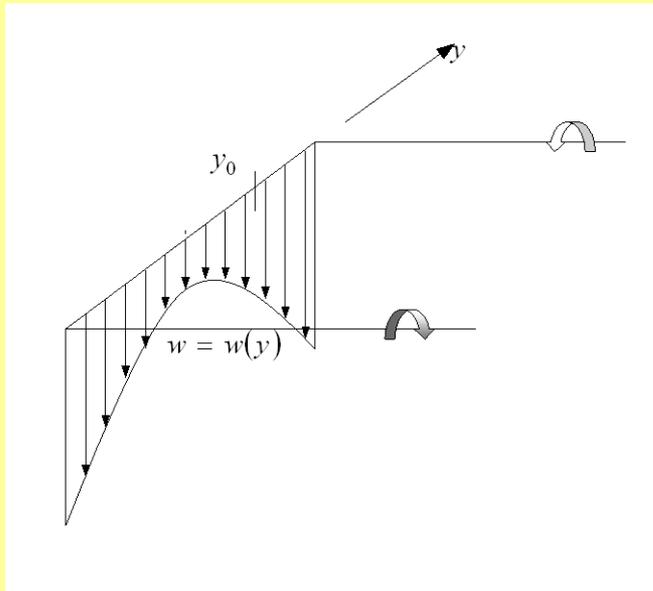
$$\frac{dc_f}{d\alpha} = 2\pi$$

$$C_l = 2\pi\alpha$$



$$\alpha(y_0) = \frac{\Gamma(y_0)}{\pi V_\infty} C(y_0) + \alpha_{L\infty}(y_0) + \frac{1}{4\pi V_\infty} \int_{-b/2}^{b/2} \left(\frac{d\Gamma/dy}{y_0 - y} \right) dy$$

$$L'_{y_0} = \rho_\infty V_\infty \Gamma(y_0)$$



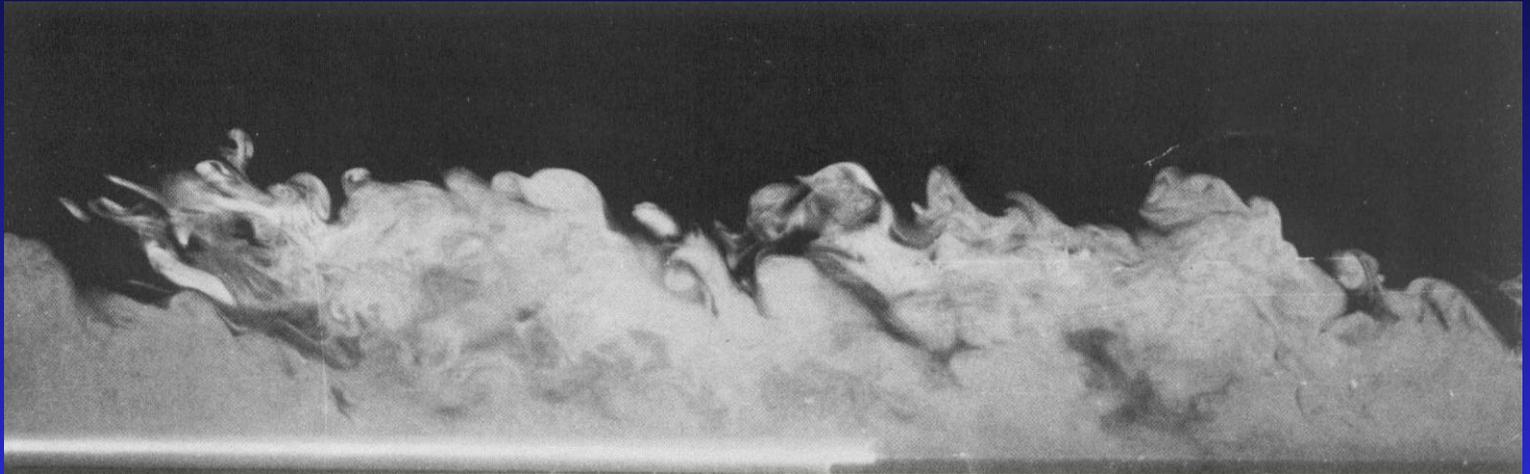
$$L = \rho_\infty V_\infty \int_{-b/2}^{b/2} \Gamma(y) dy$$

$$C_L = A_1 \pi AR \quad AR = \frac{b^2}{S}$$

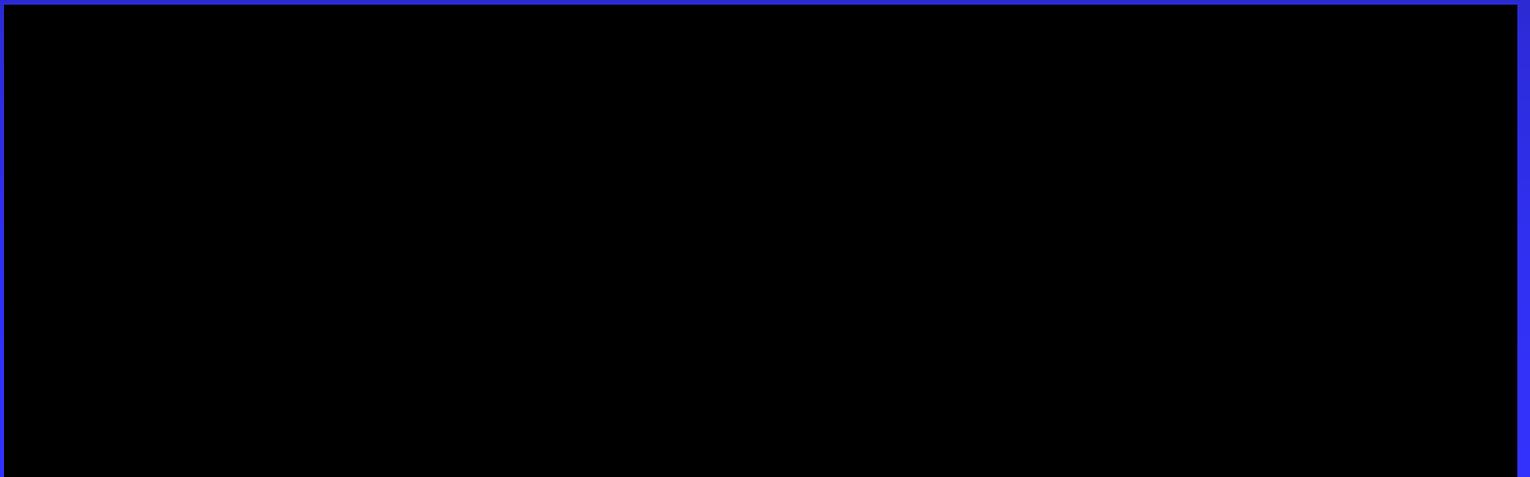


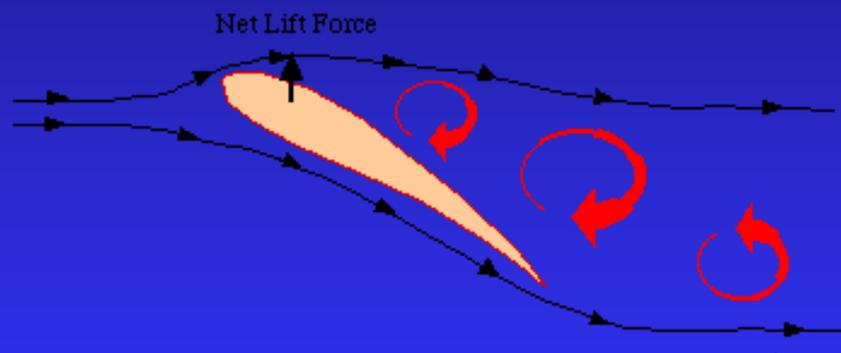
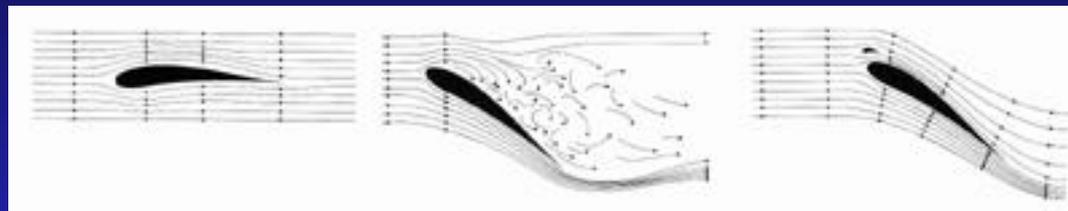
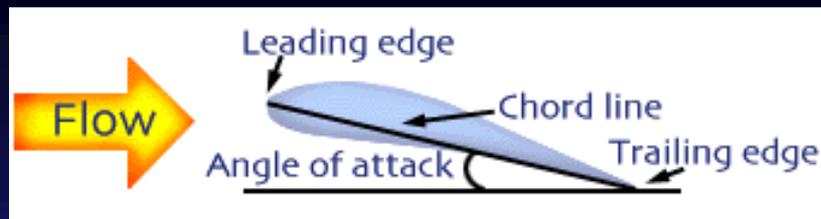
A camada limite turbulenta

An Album of Fluid Mechanics



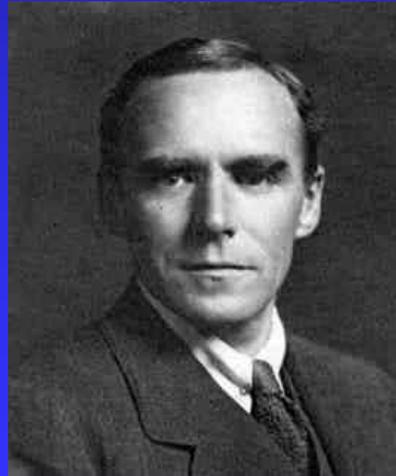
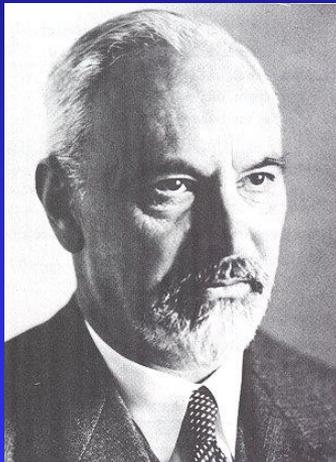
Laboratório de Mecânica da Turbulência







- **1904** **Prandtl:** **camada limite.**
- **1916** **Taylor:** **comprimento de mistura,
lei logarítmica.**
- **1915-1935** **Taylor – von Kármán:** **estudos estatísticos.**





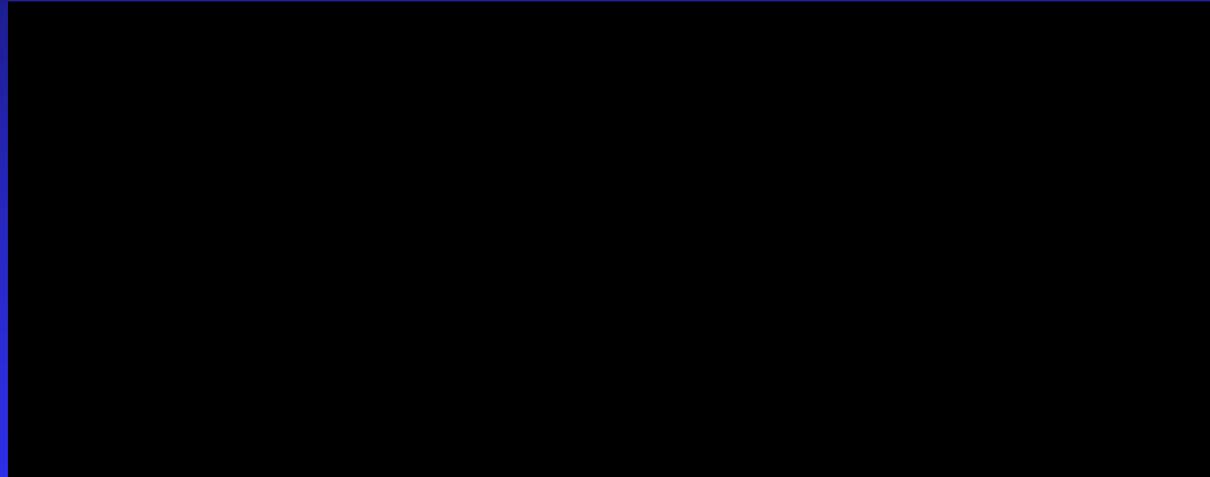
- **1939** **Millikan:** lei da parede.
- **1941** **Kolmogorov:** lei dos quatro quintos
- **1956** **Clauser, Coles:** lei da esteira.
- **1967** **Kovasznay:** estrutura da camada limite turbulenta.
- **1969** **Yajnik:** estrutura assintótica da camada limite turbulenta. Método das expansões assintóticas combinadas.

- **1972** **Mellor:** estrutura assintótica da camada limite turbulenta. Método das expansões assintóticas combinadas.





Escoamento real

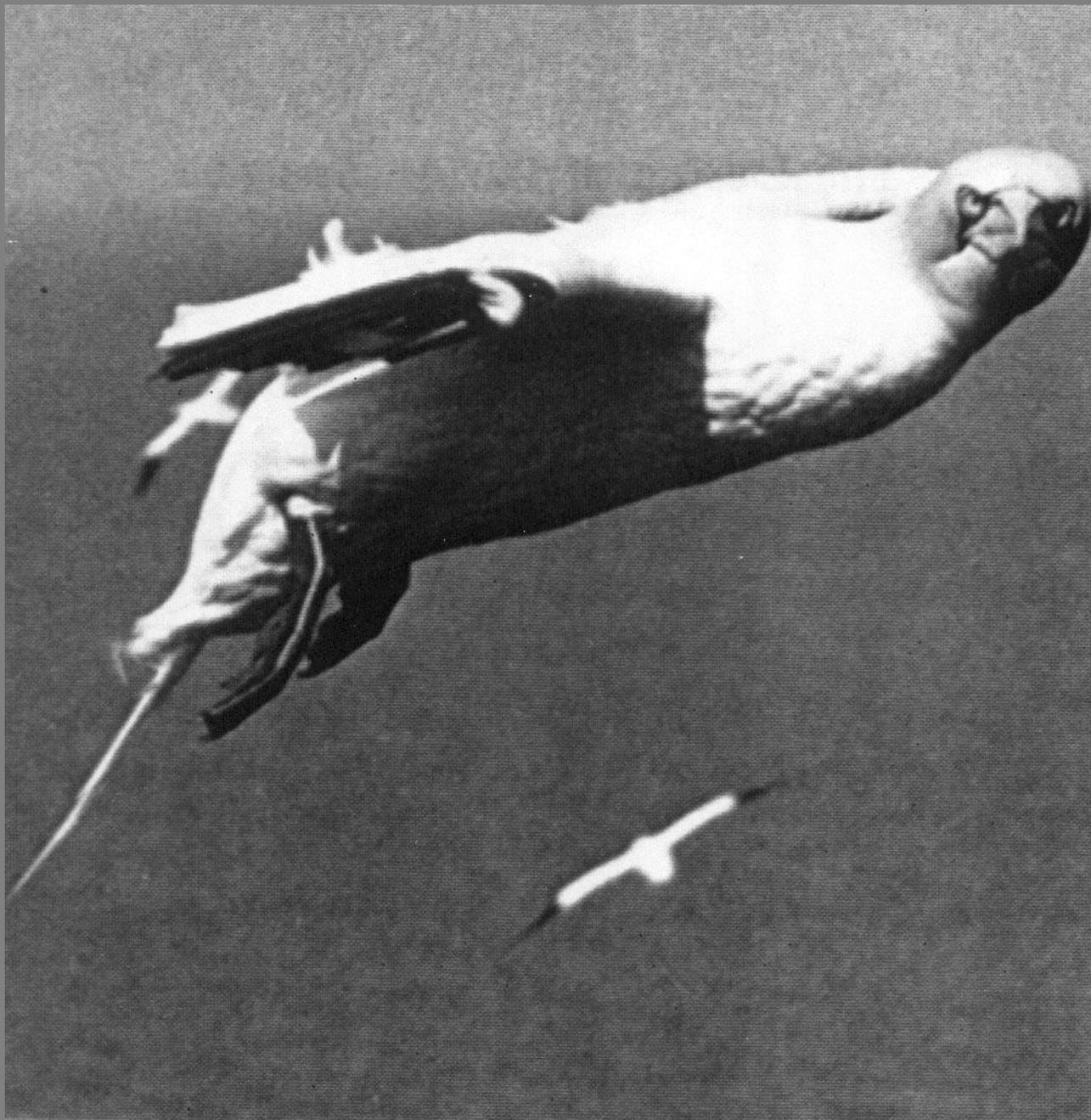


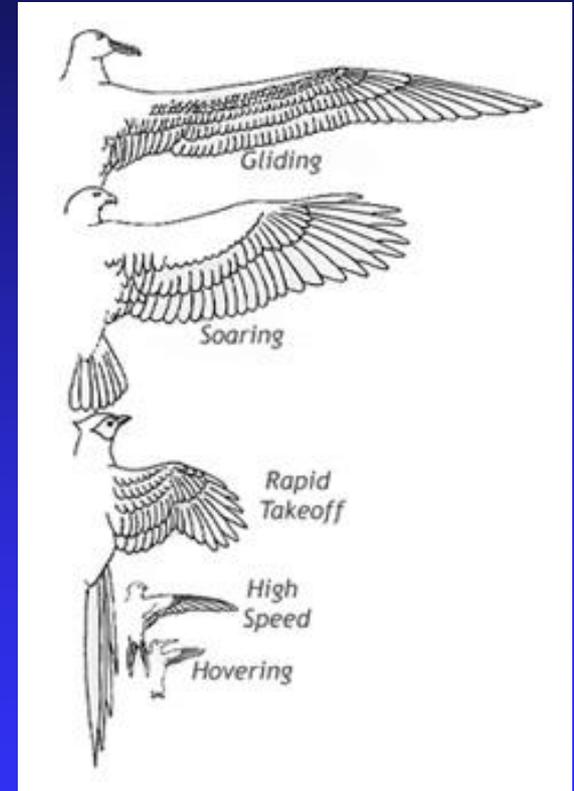
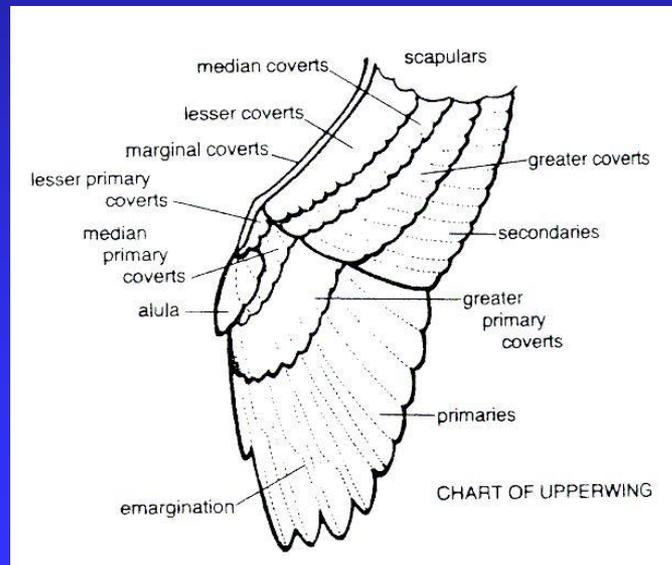
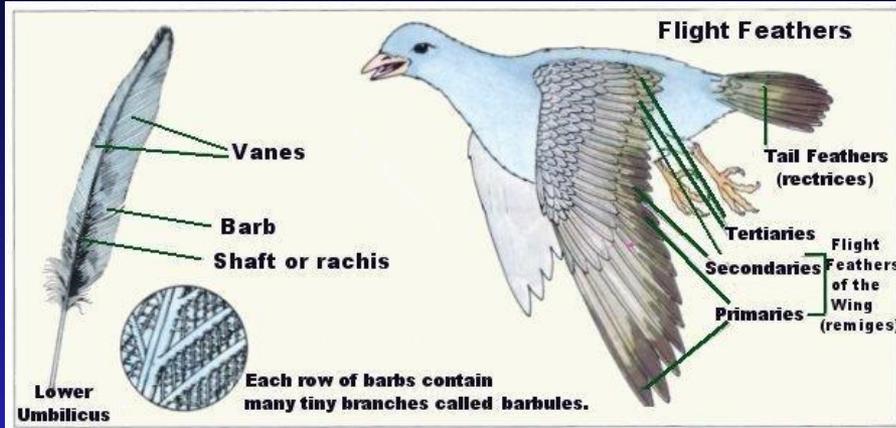
Biocinética do Vôo











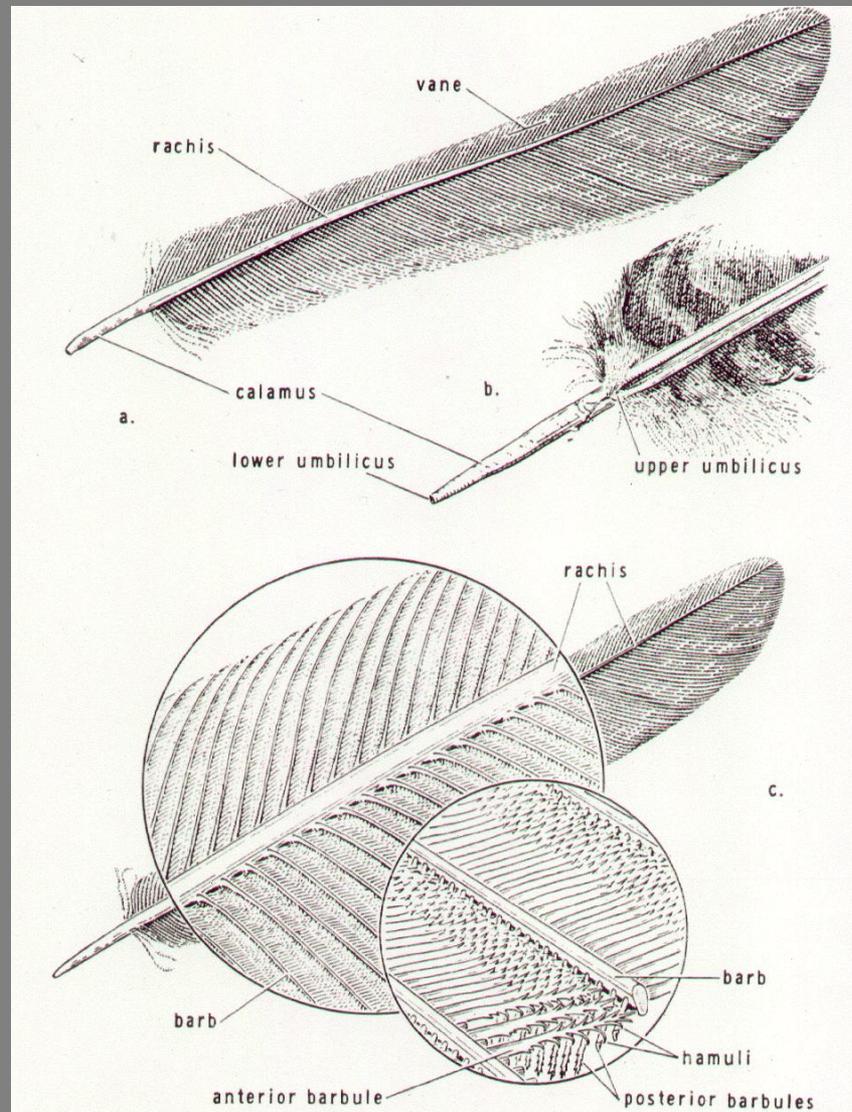
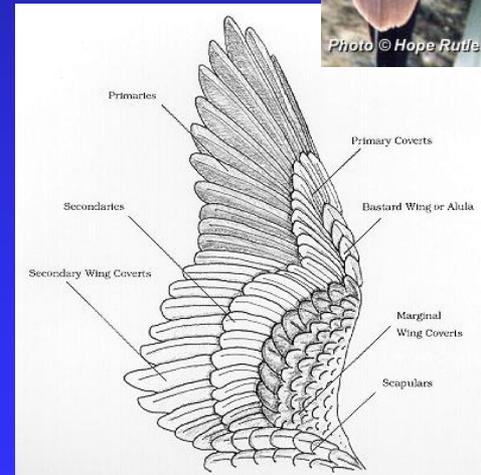
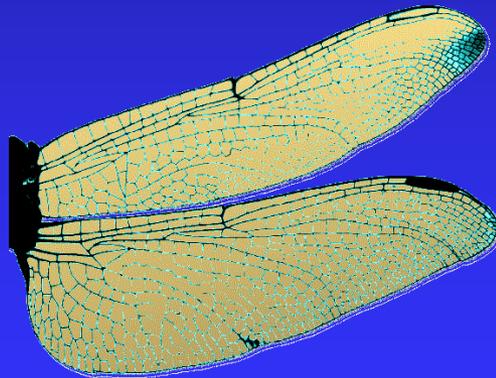


Figure 6-11. A typical flight feather and the nomenclature of its parts: a, general view; b, detail of the base of the feather; c, detail of the vane. (Van Tyne, J., and Berger, A. J.: Fundamentals of Ornithology. New York, John Wiley & Sons Inc., 1959.)



Photo © Hope Rutledge



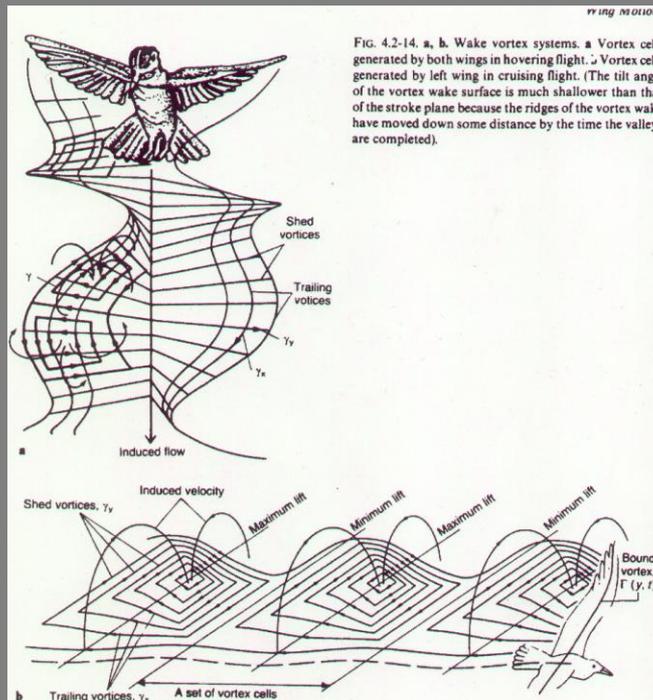
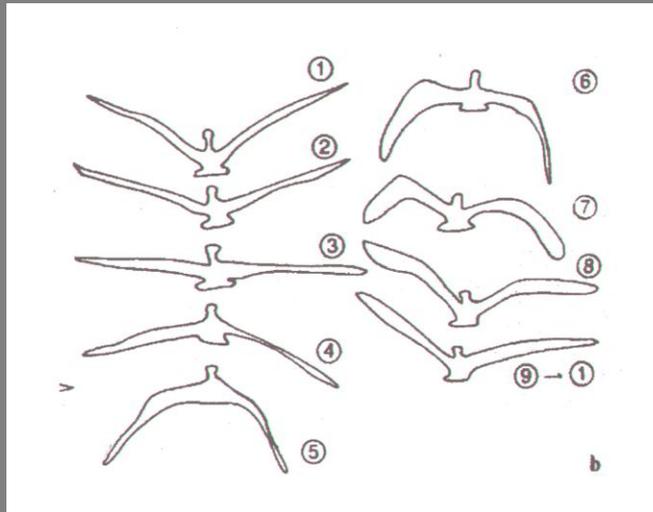
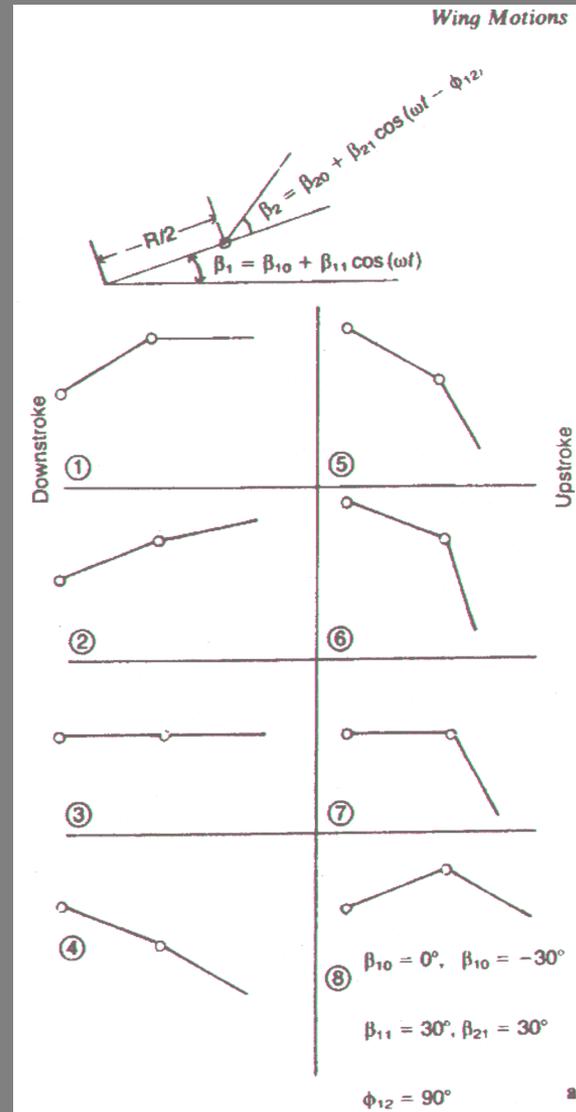
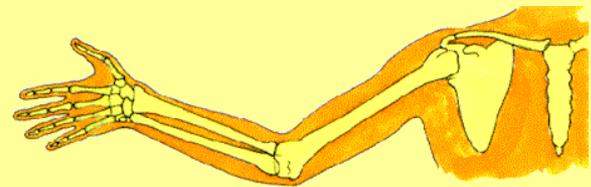
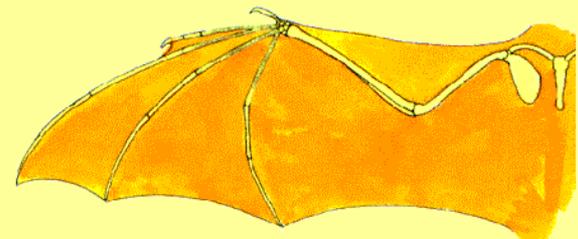
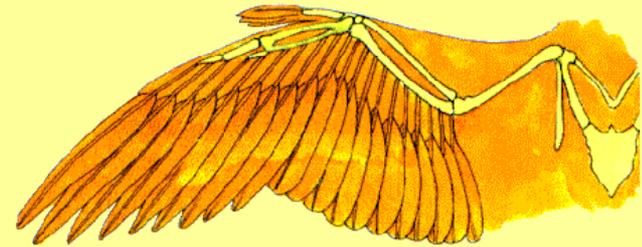
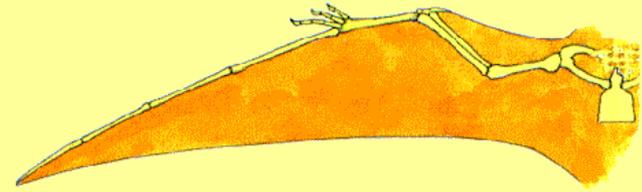
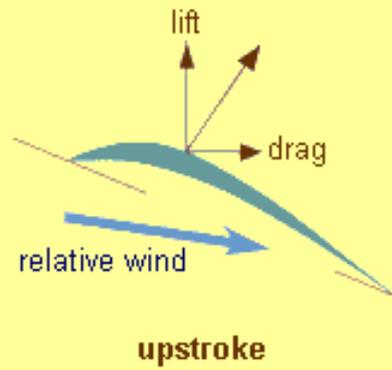
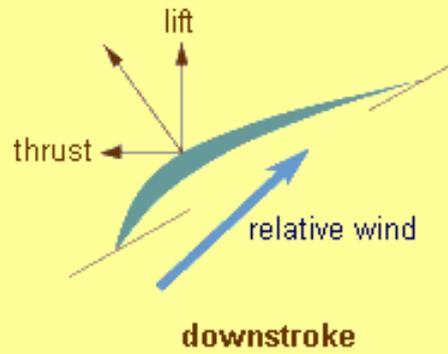


FIG. 4.2-14. a, b. Wake vortex systems. a. Vortex cells generated by both wings in hovering flight. b. Vortex cells generated by left wing in cruising flight. (The tilt angle of the vortex wake surface is much shallower than that of the stroke plane because the ridges of the vortex wake have moved down some distance by the time the valleys are completed).







flapping



twisting



folding

