

INTRODUÇÃO À MECÂNICA DE LOCOMOÇÃO DO AVIÃO

STT0403 Aeroportos, portos e vias navegáveis

Prof. Antônio NÉLSON Rodrigues da Silva

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Transportes



AERONAVE

**DESIGNAÇÃO GERAL DOS
APARELHOS, ARTEFATOS OU
MÁQUINAS QUE USAM A
ATMOSFERA COMO MEIO DE
NAVEGAÇÃO**

Tópicos

- A aeronave
- O avião
- Constituição do avião
- Aerofólios
- Estol

AERONAVES

AERÓSTATOS

AERÓDINOS

AERÓSTATOS



AERÓDINOS



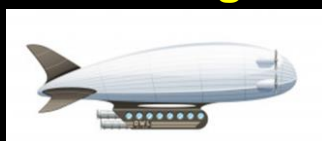
AERONAVES

AERÓSTATO



Balão

Dirigível



AERÓDINO

Asas giratórias



Asas fixas

AERONAVES

AERÓSTATO

MAIS LEVE QUE O AR

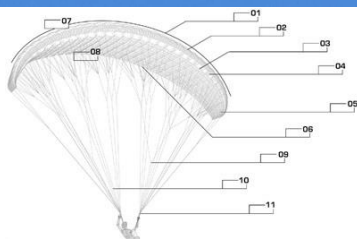
Sustentação estática
por empuxo

AERÓDINO

MAIS PESADO QUE O AR

Sustentação dinâmica

CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO CARACTERÍSTICAS FÍSICAS					DENOMINAÇÃO COMUM
AERONAVE (máquina, capaz de realizar vôo na atmosfera)	AERÓSTATO (mais leve que o ar - sustentação estática por empuxo)	Balão (sem motor)	Flexível	Gás leve	Balão
			Rígido	Ar quente	
		Dirigível (com motor)	Flexível	Gás leve	(Balão) Dirigível
			Rígido		
	AERÓDINO (mais pesado que o ar - sustentação dinâmica)	Asas Fixas (Aeroplano)	Sem motor	Asas sem estrutura rígida	Parapente, paraglider
				Asas com estrutura rígida	Planador (asas com ventre)
					Rogallo, Asa delta (asas sem ventre)
			Com motor	Asas sem estrutura rígida	Paraglider com motor
				Asas com estrutura rígida	Avião (asas com ventre)
					Ultraleve, Rogallo Delta (asas sem ventre)
Asas Giratórias		Torque direto	Asas "sólidas"	Helicóptero	
		Torque por arrasto		Autogiro	



- BALÃO**
- (BALÃO) DIRIGÍVEL**
- PARAPENTE, PARAGLIDER**
- PLANADOR**
(ASAS COM VENTRE)
- ROGALLO, ASA DELTA**
(ASAS SEM VENTRE)
- PARAGLIDER COM MOTOR**
- AVIÃO** (ASAS COM VENTRE)
- ULTRALEVE, ROGALLO**
DELTA (ASAS SEM VENTRE)
- HELICÓPTERO**
- AUTOGIRO**

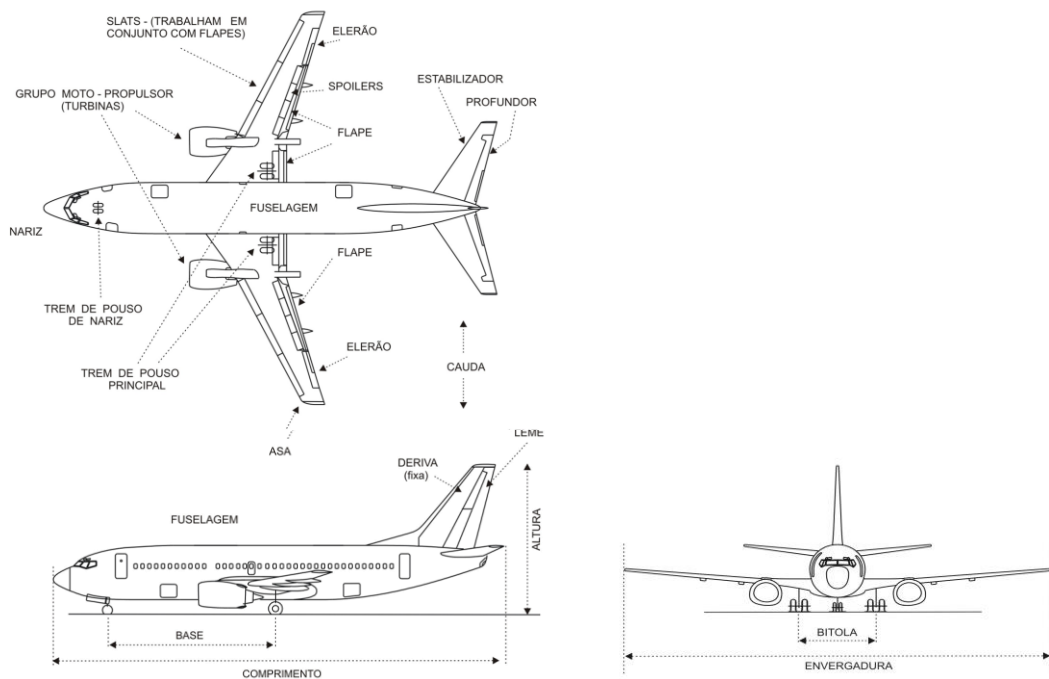
AVIÃO

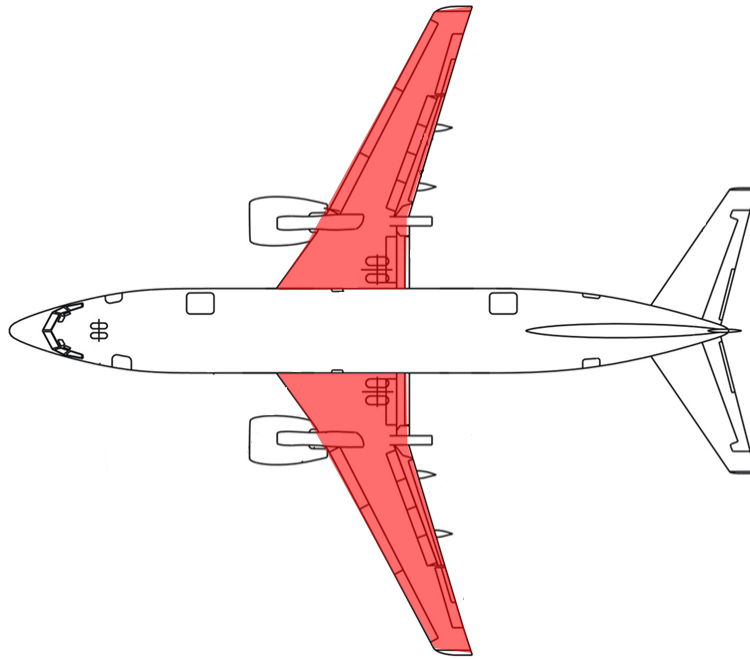


AVIÃO

**VEÍCULO QUE VOA PELA AÇÃO
DE FORÇAS DE SUSTENTAÇÃO
GERADAS A PARTIR DA
AÇÃO MÚTUA VERIFICADA
ENTRE O AR E O AVIÃO**

CONSTITUIÇÃO DO AVIÃO

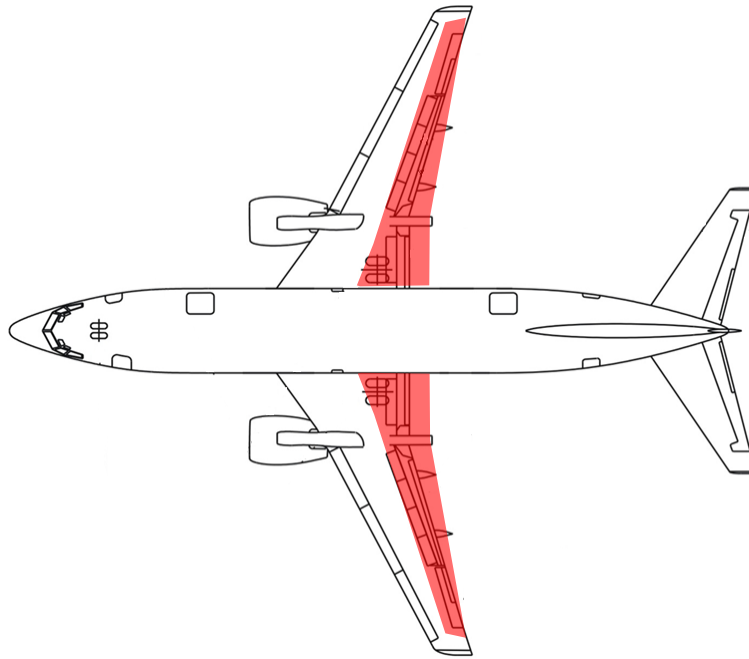




CONSTITUIÇÃO DO AVIÃO

ASAS

GERAM AS FORÇAS DE SUSTENTAÇÃO



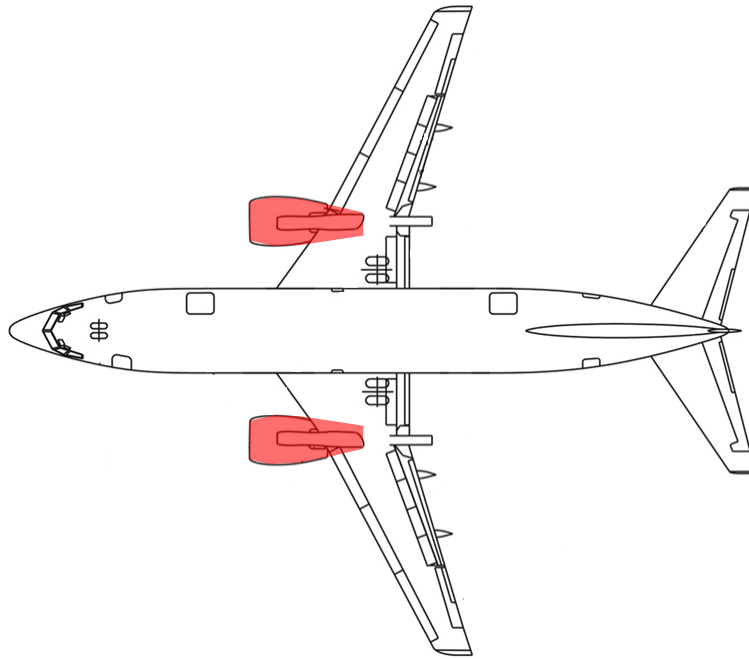
CONSTITUIÇÃO DO AVIÃO

ASAS

GERAM AS FORÇAS DE SUSTENTAÇÃO

**SUPERFÍCIES
MÓVEIS**

CONTROLAM ATITUDE DA AERONAVE



CONSTITUIÇÃO DO AVIÃO

ASAS

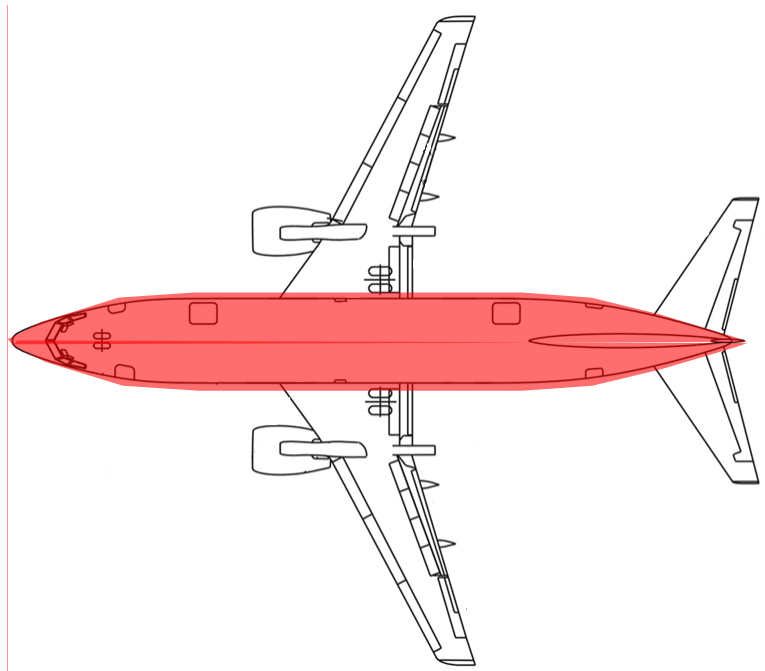
GERAM AS FORÇAS DE SUSTENTAÇÃO

**SUPERFÍCIES
MÓVEIS**

CONTROLAM ATITUDE DA AERONAVE

**SISTEMA
PROPULSOR**

**FORNECE A TRAÇÃO OU EMPUXO
NECESSÁRIOS AO DESLOCAMENTO**



CONSTITUIÇÃO DO AVIÃO

ASAS

GERAM AS FORÇAS DE SUSTENTAÇÃO

**SUPERFÍCIES
MÓVEIS**

CONTROLAM ATITUDE DA AERONAVE

**SISTEMA
PROPULSOR**

**FORNECE A TRAÇÃO OU EMPUXO
NECESSÁRIOS AO DESLOCAMENTO**

FUSELAGEM

**CORPO QUE LIGA ESTRUTURALMENTE
TODAS AS OUTRAS PARTES**

AEROFÓLIOS

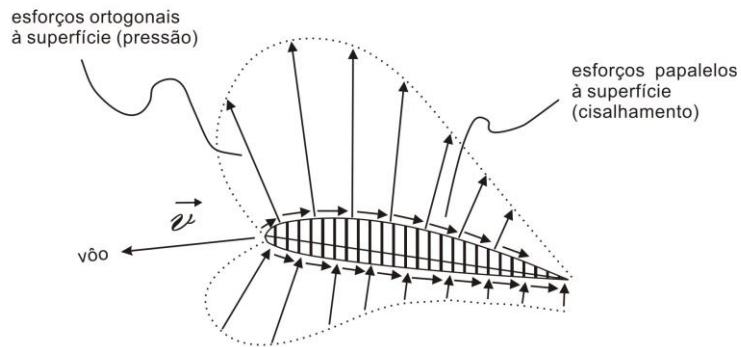
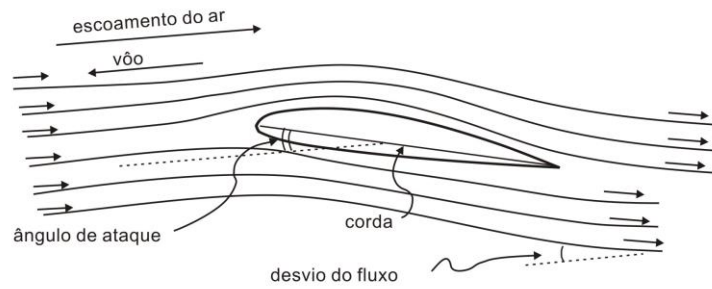
AEROFÓLIOS



**PARTES DOS AVIÕES
DESTINADAS A PRODUZIR
SUSTENTAÇÃO**

ASAS, ESTABILIZADORES, HÉLICES, etc.

**FORMA ACHATADA,
ALONGADA E PERFIL TÍPICO**



YouTube interface showing a video titled "AIRFOIL TECHNOLOGY". The video content includes an image of an aircraft wing with red streamlines illustrating air flow. Below the image, the text reads: "Turbinas eólicas, turbinas a gás, turbinas hidráulicas... todas funcionam sob os princípios do aerofólio." (Wind turbines, gas turbines, hydraulic turbines... all function under the principles of the airfoil.) The video player shows a progress bar at 0:03 / 6:58 and the URL www.LearnEngineering.org. The YouTube logo and "PARTNER" text are also visible.

FORÇAS ATUANTES NO AEROFÓLIO

FORÇAS DE PRESSÃO

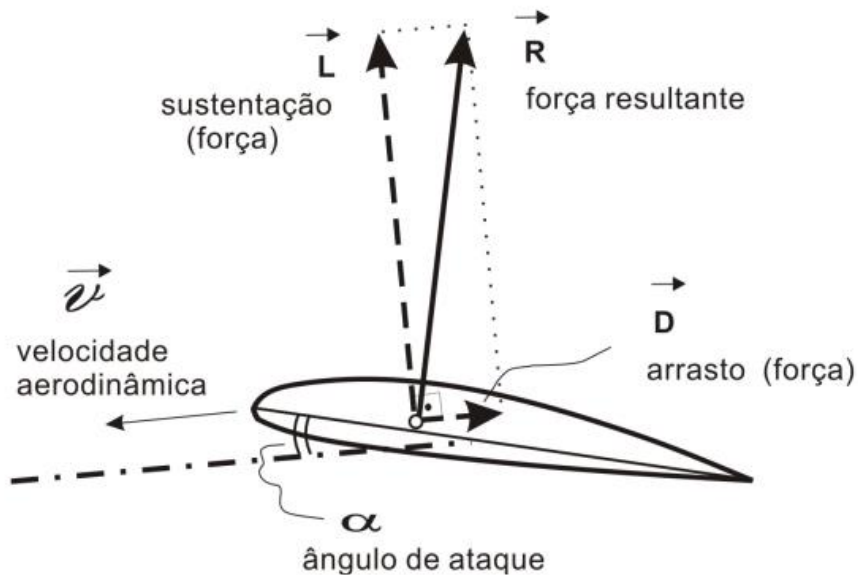
Devidas às diferenças de velocidade no dorso e ventre do aerofólio

No **Dorso**, Velocidade de escoamento > velocidade de escoamento livre
No **Ventre**, Velocidade de escoamento < velocidade de escoamento livre

PRESSÕES NEGATIVAS
PRESSÕES POSITIVAS

FORÇAS DE ATRITO

Devidas à resistência do ar ao movimento



FORÇAS ATUANTES NO AEROFÓLIO

FORÇAS
**NORMAIS À
SUPERFÍCIE**

FORÇAS DE **PRESSÃO**

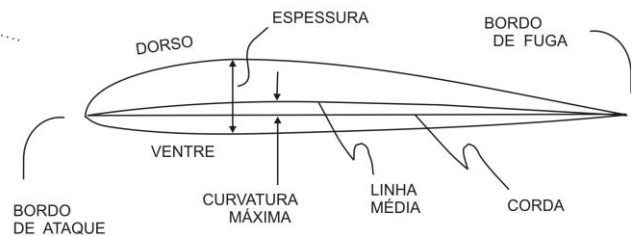
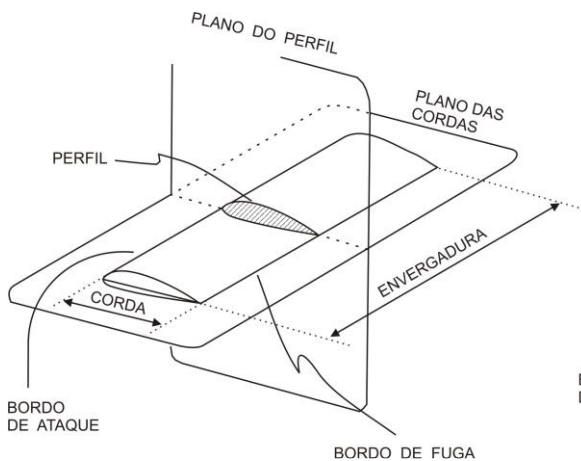
SUSTENTAÇÃO !!!

FORÇAS
**TANGENCIAIS À
SUPERFÍCIE**

FORÇAS DE **PRESSÃO**
+
FORÇAS DE **ATRITO**

ARRASTO !!!

ELEMENTOS DO AEROFÓLIO



QUANTIFICAÇÃO DAS FORÇAS ATUANTES NO AEROFÓLIO

SUSTENTAÇÃO

$$L = C_L \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S$$

C_L = coeficiente de sustentação

C_D = coeficiente de arrasto

S = superfície alar (m^2)

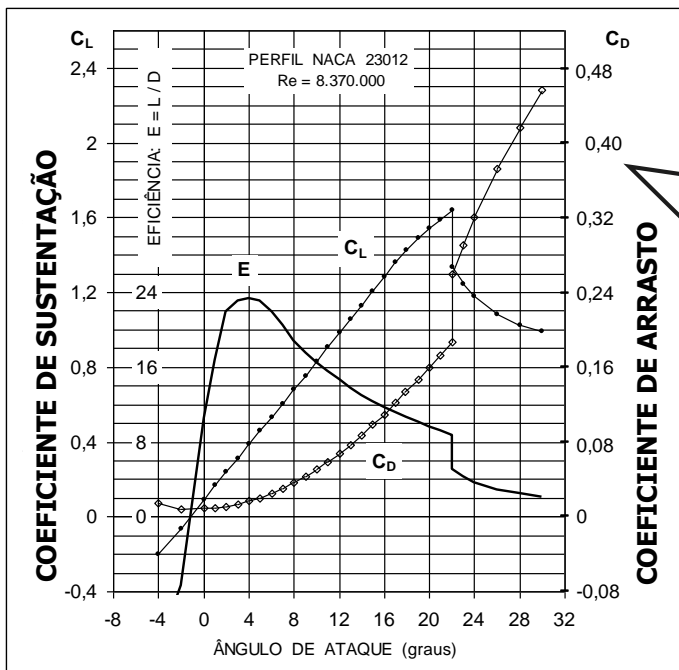
ρ = massa específica do ar (kg/m^3)

V = velocidade aerodinâmica (m/s)



ARRASTO

$$D = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S$$



EXEMPLO:
CARACTERÍSTICAS DO PERFIL NACA 23012, OBTIDAS EMPIRICAMENTE

E O RESTANTE DO AVIÃO?

39



DESEMPENHO DO AVIÃO



**EFICIÊNCIA
AERODINÂMICA**

$$E = \frac{\text{Sustentação}}{\text{Arrasto}} = \frac{L}{D} = \frac{C_L}{C_D}$$

Depende de:
Número de Reynolds
Número de Mach
Ângulo de Ataque

EXEMPLO 1

Calcular as forças de sustentação e arrasto de uma asa de perfil NACA 23012, com área de 30 m^2 deslocando-se a 250 km/h com um ângulo de ataque de 4° , massa específica do ar na situação (pressão e temperatura) do voo igual a $0,102 \text{ kgfm}^{-4} \text{ s}^2$ ($1,00 \text{ kg/m}^3$).

EXEMPLO 1

DADOS

Asa de perfil NACA 23012

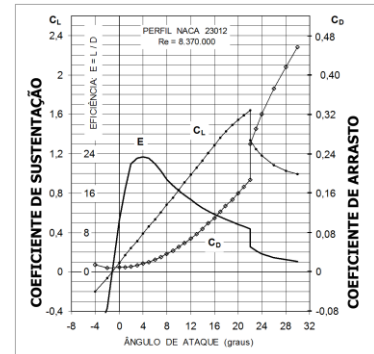
Área - 30 m²

Velocidade - 250 km/h

Ângulo de ataque - 4°

Massa específica do ar -

$0,102 \text{ kgfm}^{-4} \text{ s}^2$ (1,00 kg/m³)



43

EXEMPLO 1

PEDE-SE:

- FORÇA DE SUSTENTAÇÃO
- FORÇA DE ARRASTO

44

EXEMPLO 2

Uma asa com superfície alar de 30 m^2 e perfil NACA 23012 desloca-se à velocidade de 210 km/h produzindo uma força de sustentação de 5000 kgf (49035 N). A massa específica do ar nas condições de voo é $0,093 \text{ kgfm}^{-4} \text{ s}^2$ ($0,91 \text{ kg/m}^3$). Qual é o ângulo de ataque e o valor da força de arrasto?

45

EXEMPLO 2

DADOS

Asa de perfil NACA 23012

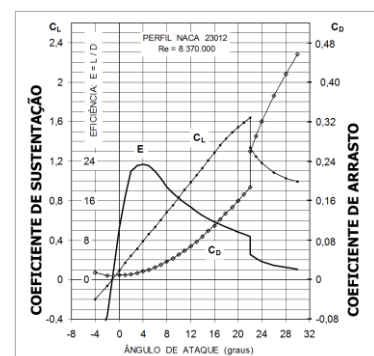
Área - 30 m^2

Velocidade - 210 km/h

Força de sustentação - 5000 kgf (49035 N)

Massa específica do ar -

$0,093 \text{ kgfm}^{-4} \text{ s}^2$ ($0,91 \text{ kg/m}^3$)



46

EXEMPLO 2

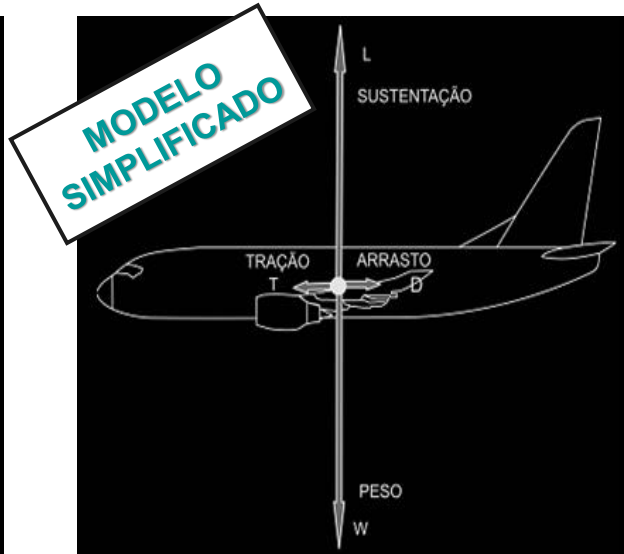
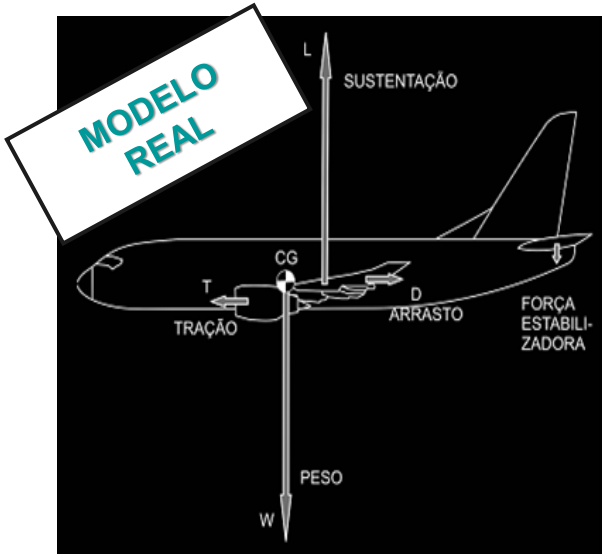
PEDE-SE:

- **ÂNGULO DE ATAQUE**
- **FORÇA DE ARRASTO**

47

**VOO RETILÍNEO
EM NÍVEL**

FORÇAS ATUANTES



NOTAS IMPORTANTES

**FORÇA DE SUSTENTAÇÃO
DA ORDEM DE
10 A 20 VEZES
A
FORÇA DE ARRASTO**

**CENTRO DE GRAVIDADE
SEMPRE À FRENTE
DO
PONTO DE APLICAÇÃO DA
SUSTENTAÇÃO**

ARRASTO DISTRIBUÍDO POR TODA A SUPERFÍCIE DO AVIÃO

REPRESENTADO EM UM PONTO
POR SIMPLICIDADE

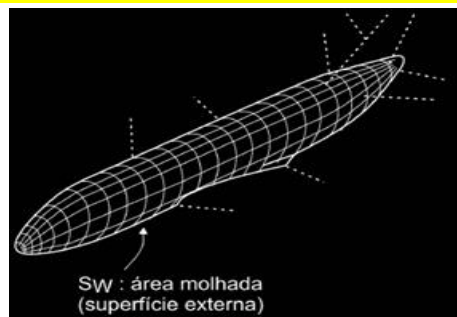
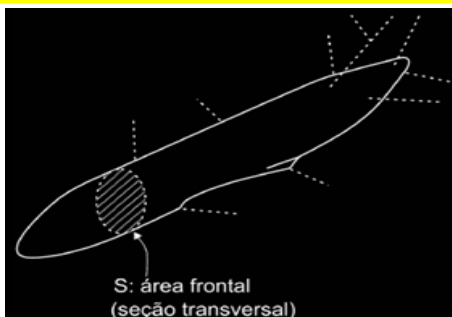
QUANTIFICAÇÃO DAS FORÇAS ATUANTES NA FUSELAGEM

ARRASTO

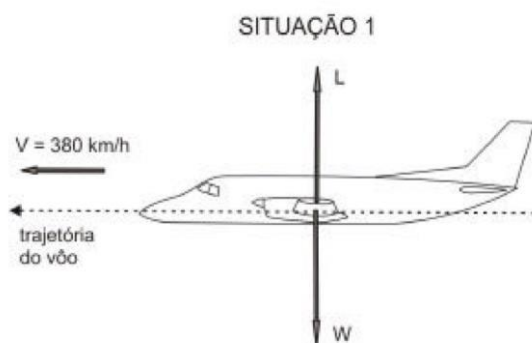


$$D = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S_R$$

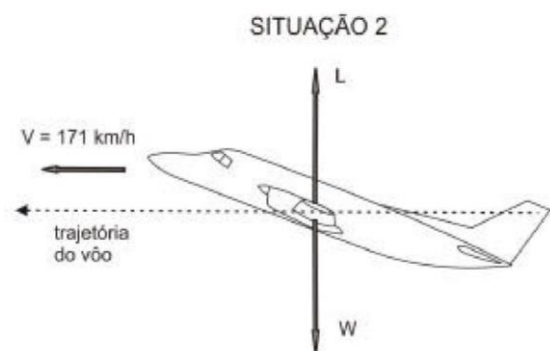
SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA



DUAS CONDIÇÕES LIMITES DE VOO RETLÍNEO EM NÍVEL



**VELOCIDADE GRANDE
ÂNGULO DE ATAQUE PEQUENO**



**VELOCIDADE PEQUENA
ÂNGULO DE ATAQUE GRANDE**

EXEMPLO 3

UM AVIÃO BIMOTOR A HÉLICE TEM AS SEGUINTEs CARACTERÍSTICAS:

- **Peso bruto (em voo):**
 $W = 5.000 \text{ kgf (49.035 N)}$
- **Superfície alar: $S = 30 \text{ m}^2$**
- **Asa com perfil NACA 23012**
Admitindo que a curva característica do perfil representa o comportamento das asas nas situações analisadas.

58

EXEMPLO 3

DADOS ADICIONAIS

- **"Área molhada" exceto as asas (fuselagem, empenagem, etc.):**
 $S_w = 140 \text{ m}^2$
- **Potência útil máxima contínua de cada motor, já incluído o rendimento da hélice:**
Ao nível do mar: $PNM = 600 \text{ HP (447 kW)}$
A 3.000 m : $PC = 420 \text{ HP (313 kW)}$
- $C_{DW} = 0,0045$

59

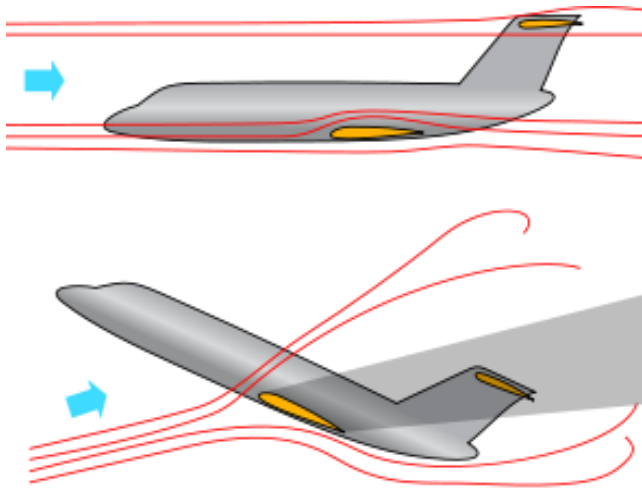
EXEMPLO 3

Para voo em linha reta e em nível e à velocidade constante de XXX km/h, a 3.000 m de altitude com densidade do ar igual a $0,093 \text{ kgfm}^{-4}\text{s}^2$ ($0,91 \text{ kg/m}^3$), pergunta-se:

- **Qual é o ângulo de ataque?**
- **Qual o valor do arrasto da asa?**
- **A potência disponível é suficiente para voo?**

60

ESTOL



Tilt with respect to horizontal plane

