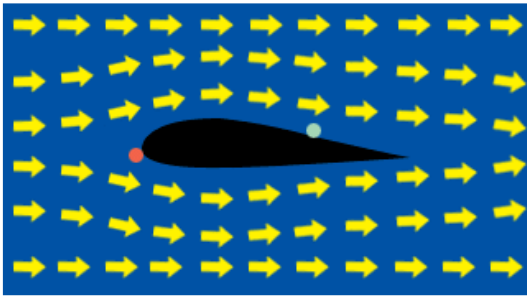




## GENERALIDADES

Os aerofólios são baseados no princípio do Tubo de Venturi em que velocidades diferentes geram diferença de pressão a qual cria uma força sempre dirigida da alta pressão para a baixa – denominada de **RESULTANTE AERODINÂMICA** a qual é decomposta em sustentação e arrasto.



### PERFIS/AEROFÓLIOS SIMÉTRICOS

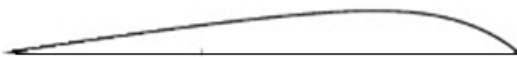
Quando se passa uma linha no meio do aerofólio, obtêm-se duas partes iguais. Existe menor diferença de velocidade e pressão entre o intra-dorso e o extradorso e por isso gera menos resultante aerodinâmica (sustentação e arrasto).



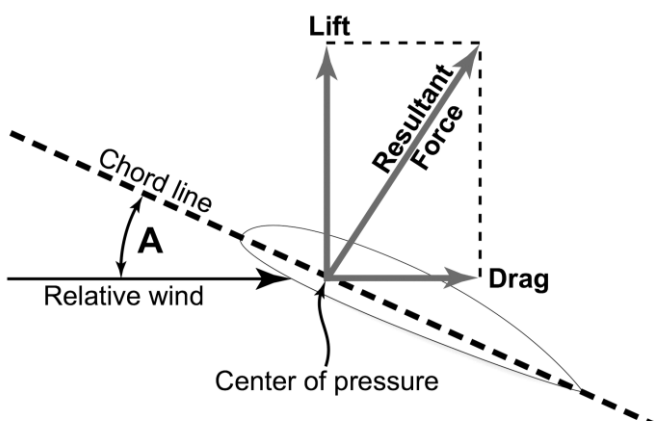
Perfil Simétrico

### PERFIS/AEROFÓLIOS ASSIMÉTRICOS

Quando se passa uma linha no meio do aerofólio, obtêm-se duas partes diferentes. Existe maior a diferença de velocidade, maior a diferença de pressão e por isso a resultante aerodinâmica obtida é maior (mais sustentação e arrasto).



Perfil Assimétrico



Para fins matemáticos, assume-se que todas as forças se originam em um único ponto da asa, denominado Centro de Pressão.

### SUSTENTAÇÃO

É a componente perpendicular ao vento relativo da resultante aerodinâmica (vertical). Dirigida para cima, é a componente que sustenta o avião em voo.

### ARRASTO

Componente paralela à direção do vento relativo da resultante aerodinâmica (horizontal). Dirigida para trás, é prejudicial ao desenvolvimento do voo.

OBS: O arrasto e a sustentação são sempre perpendiculares entre si.

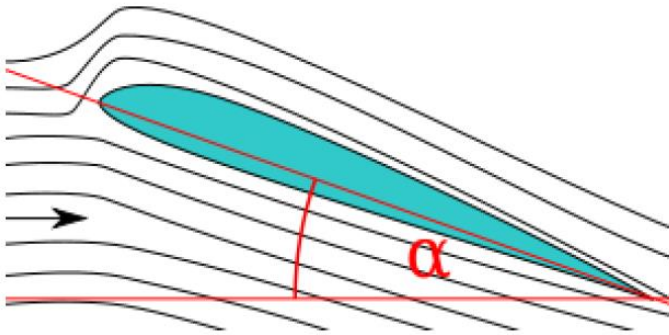
OBS: Embora existam duas “forças” denominadas de sustentação e arrasto, a ÚNICA força produzida pela asa é a **RESULTANTE AERODINÂMICA** e a sustentação e o arrasto são unicamente componentes desta resultante para melhor entendermos as situações.

OBS: A sustentação não é sempre vertical e o arrasto não é sempre horizontal, se a aeronave estiver subindo, por exemplo, o vento relativo estará inclinado para baixo, logo a sustentação será inclinada e o arrasto também, a sustentação e o arrasto permanecem perpendiculares entre si, mas não são mais vertical e horizontal em relação à linha do horizonte – conforme exemplifica o desenho abaixo:



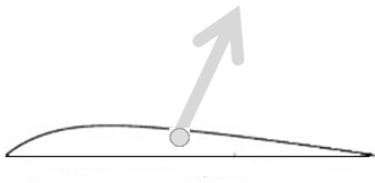
### ÂNGULO DE ATAQUE

É o ângulo formado entre a corda do aerofólio e o vento relativo que incide no perfil. Quando há impacto do vento relativo combinado com a angulação do perfil (até um determinado limite) existe maior geração de resultante aerodinâmica, pois existirá mais assimetria percebida pelo vento relativo entre o intradorso e o extradorso.



### AUMENTO DO ÂNGULO DE ATAQUE PERFIL ASSIMÉTRICO

Resultante Aerodinâmica (RA) se torna maior, devido a maior assimetria percebida pelo vento relativo. O perfil não muda, mas por estar angulado o VR (vento relativo) tem que se modificar mais para contornar o perfil – logo ele percebe uma assimetria maior. Além disso, quando há aumento do ângulo de ataque em um perfil assimétrico o centro de pressão avança para frente, fazendo uma espécie de balança com o aerofólio que o faz aumentar ainda mais o ângulo de ataque – aumentando a assimetria percebida pelo VR e por isso a RA. A figura abaixo exemplifica o processo:



Com ângulo de ataque pequeno ou até mesmo nulo já existe resultante aerodinâmica

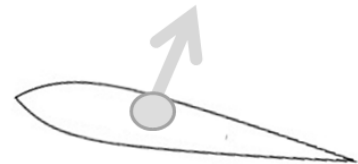


Com aumento do ângulo de ataque a resultante aerodinâmica aumenta muito e o CP se desloca para frente.

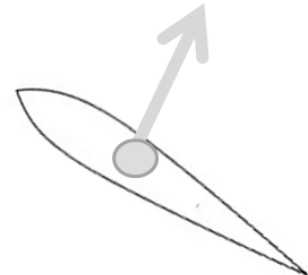
### AUMENTO DO ÂNGULO DE ATAQUE DO PERFIL SIMÉTRICO

Quando se aumenta o ângulo de ataque em um perfil simétrico cria-se uma resultante aerodinâmica. O centro de pressão, entretanto, neste tipo de perfil, se mantém sempre no mesmo local. Não contribuindo, portanto, para o aumento da geração de sustentação através do mecanismo de balança explicado anteriormente.

Quando se aumenta o ângulo de ataque em um perfil simétrico se induz uma assimetria entre o intradorso e o extradorso. Novamente, não existe modificação física do perfil propriamente dito, mas o VR tem que percorrer um caminho diferente no intradorso e no extradorso – percebendo assim uma assimetria. Como existe assimetria, as velocidades e pressões envolvidas no processo são diferentes - o que gera RA. Quando maior for o aumento do ângulo de ataque, até um determinado limite, maior será a geração de RA. A figura abaixo exemplifica o processo:



Ângulo de ataque pequeno existe uma pequena sustentação sendo gerada.



Aumentando o ângulo de ataque existe um pequeno aumento na sustentação e o CP permanece no mesmo local



## POR QUE PRECISAMOS DE SUSTENTAÇÃO?

A sustentação serve para contrapor o peso da aeronave e criar uma força maior que este, permitindo assim, com ajuda dos motores que fornecem velocidade, manter a aeronave em voo.

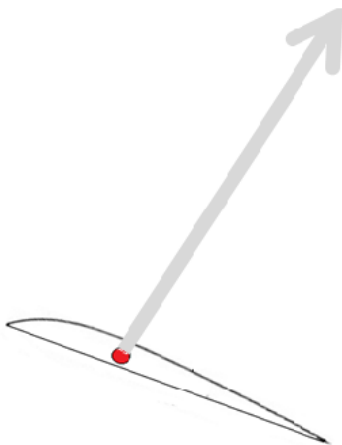
## O QUE INTERFERE NA SUSTENTAÇÃO?

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

- ✓ Ângulo de ataque (que modifica o  $C_L$  – coeficiente de sustentação - da fórmula)
- ✓ Compressibilidade do ar ( desprezada até 0.3, pouco influente até 0.8 e muito influente acima de 0.8)
- ✓ Viscosidade do fluxo livre
- ✓ Densidade do fluxo livre
- ✓ Velocidade do fluxo
- ✓ Área da asa

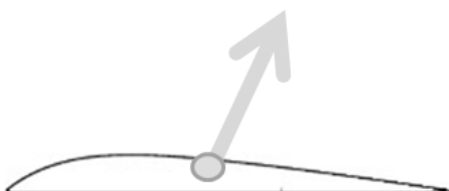
### ÂNGULO DE ATAQUE POSITIVO

-Sustentação bem positiva  
Positiva = intradorso para o extradorso



### ÂNGULO DE ATAQUE NULO

-Acontece quando o vento sopra na mesma direção da corda do aerofólio  
-Sustentação Positiva, próprio perfil gera a diferença de pressão



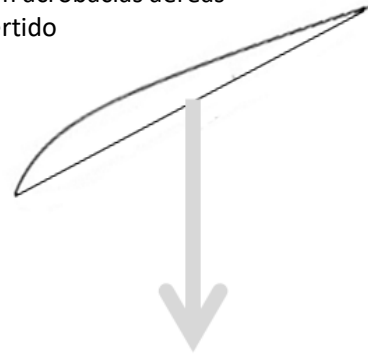
### ÂNGULO DE SUSTENTAÇÃO NULA

-Ângulo de Ataque que a asa não produz sustentação  
-Ângulo Negativo



### ÂNGULO DE ATAQUE NEGATIVO

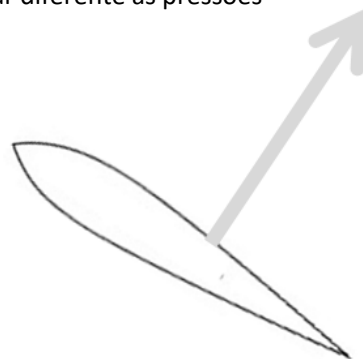
-Quando o ângulo de ataque é menor que o ângulo de sustentação nula daquele perfil  
-Usado em acrobacias aéreas  
-Voo invertido



## SUSTENTAÇÃO NOS PERFIS SIMÉTRICOS – DETALHADAMENTE

### ÂNGULO DE ATAQUE POSITIVO

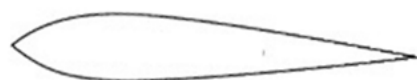
A sustentação é bem positiva assim como no assimétrico, porque existe inclinação suficiente para tornar diferente as pressões



### ÂNGULO DE ATAQUE NULO

(corda e vento – mesma direção)

A sustentação no perfil simétrico é nula porque não existe nenhuma diferença entre os bordos para gerar pressões diferentes.





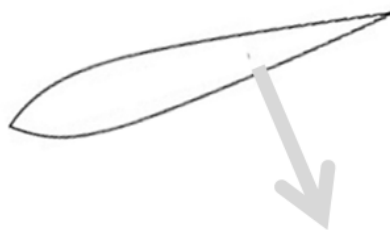
### ÂNGULO DE SUSTENTAÇÃO NULA

No perfil simétrico se não houver ângulo de ataque, não haverá sustentação alguma, por que os bordos são iguais/simétricos.



### ÂNGULO DE SUSTENTAÇÃO NEGATIVA

Ângulo menor que o ângulo de sustentação nula. Qualquer ângulo negativo no perfil simétrico já inverte a sustentação.



### FÓRMULA DA SUSTENTAÇÃO

$$L = C_l \times d/2 \times S \times V^2$$

