Propulsores tipo hélice

- A Teoria de Quantidade de Movimento do Elemento de Pá (*Blade Element Momentum Theory*)

A BEMT

BEMT = teoria resultante da união entre os modelos de disco atuador e elemento de pá.

Disco Atuador

Ação do propulsor à montante e à jusante via abordagem de qtde de movimento

Incógnitas: fatores de indução (*a*, *a*')

+

Elemento de Pá

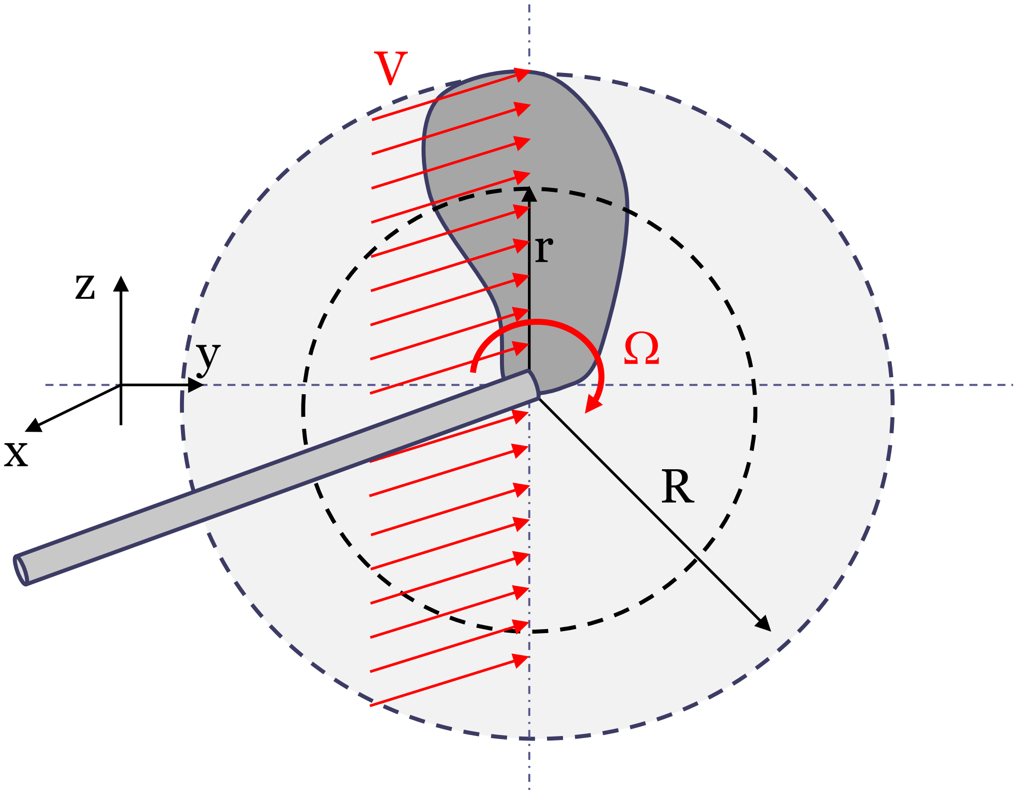
Ação das pás via abordagem de teoria de fólios; Resposta dos fólios conhecida *a priori* (C_L;C_D)

Input: Velocidades do escoamento no plano do propulsor

→

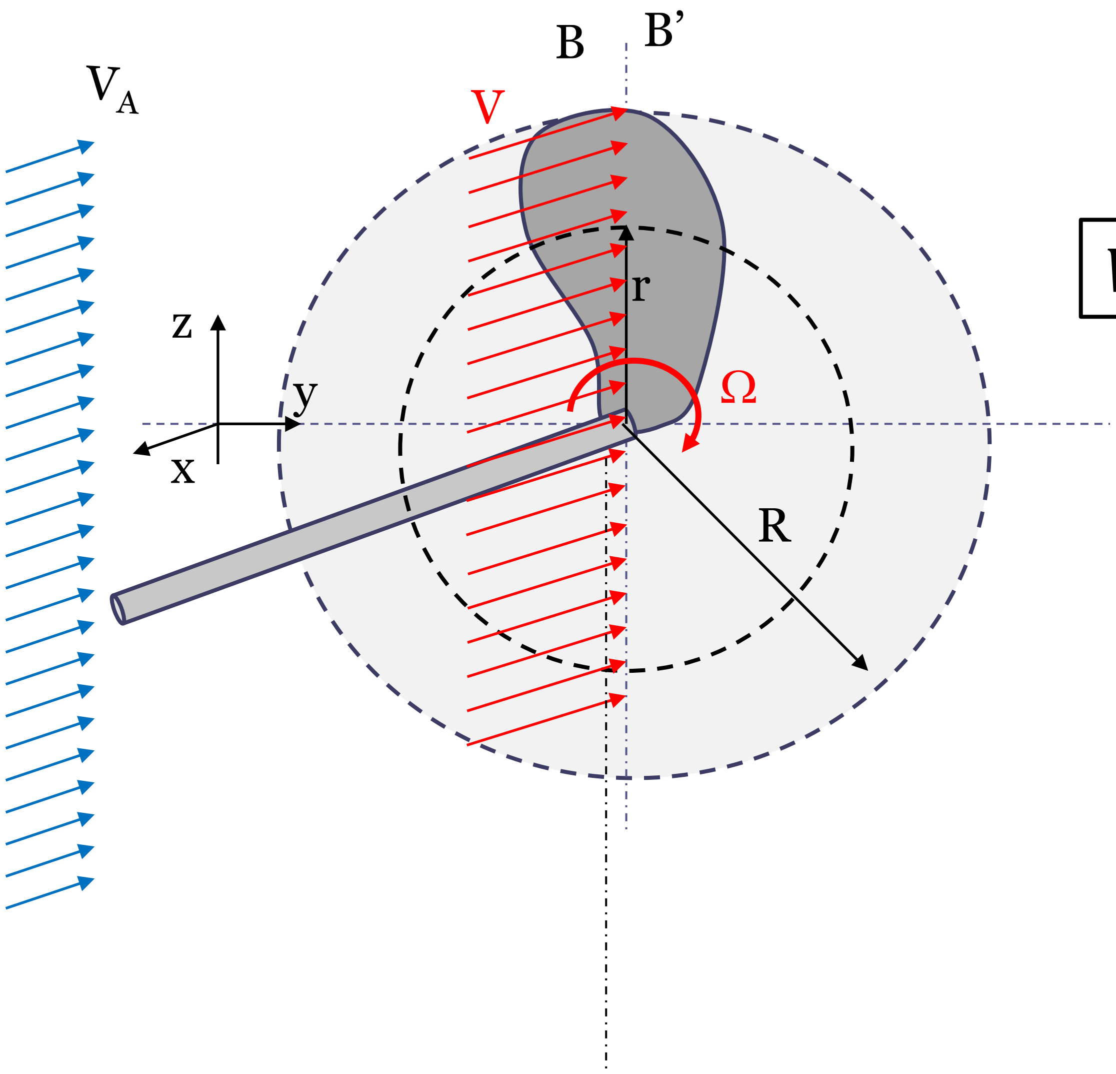
a
a'
T
Q
η

A BEMT



A questão crucial é introduzir as informações fornecidas pela teoria de disco atuador sobre as velocidades do escoamento no plano do disco no modelo de elemento de pá

A BEMT

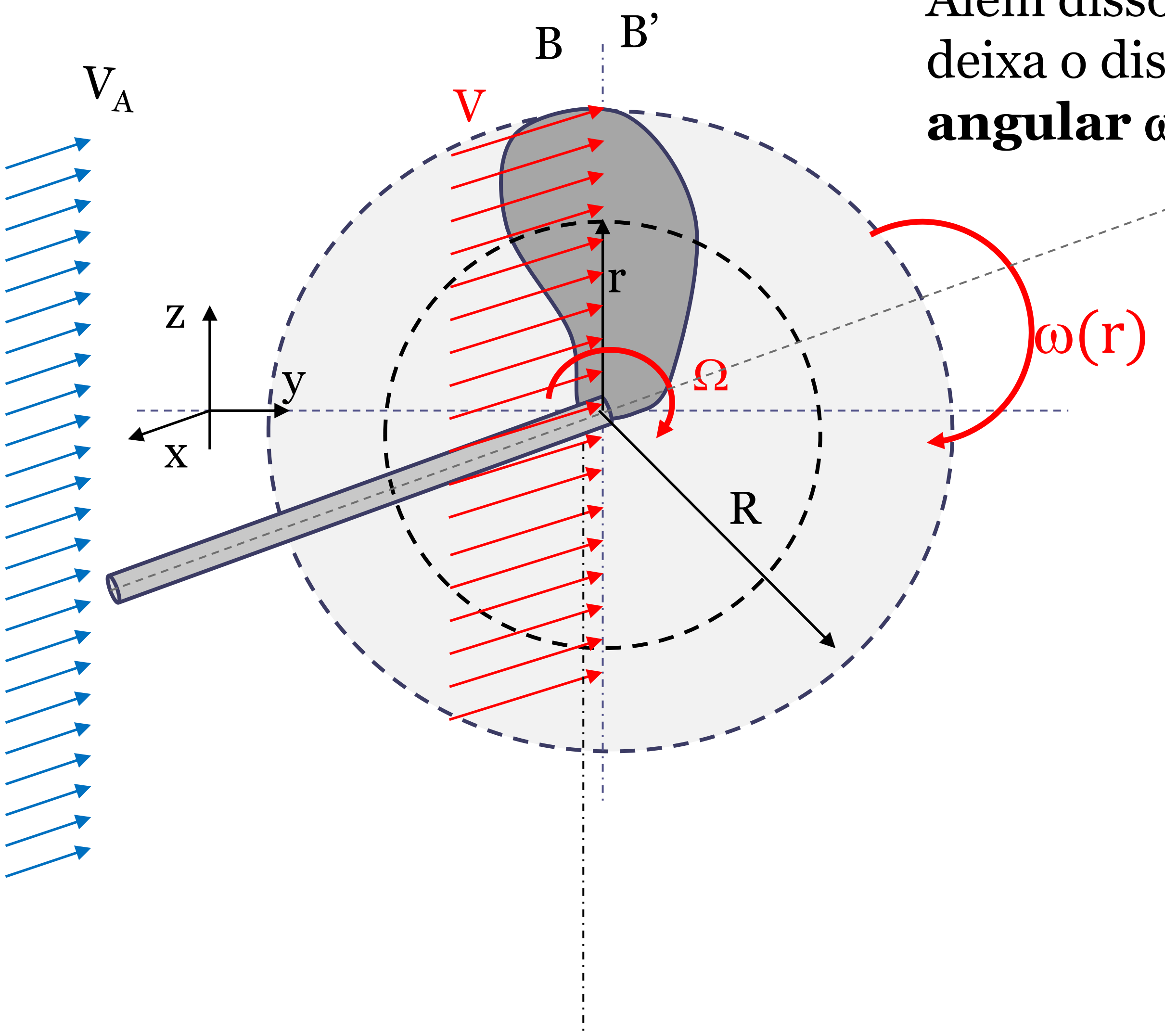


Sobre a velocidade axial (V):

Sabemos que:

$$\boxed{V = V_B = V_{B'} = V_A(1 + a)}$$

A BEMT



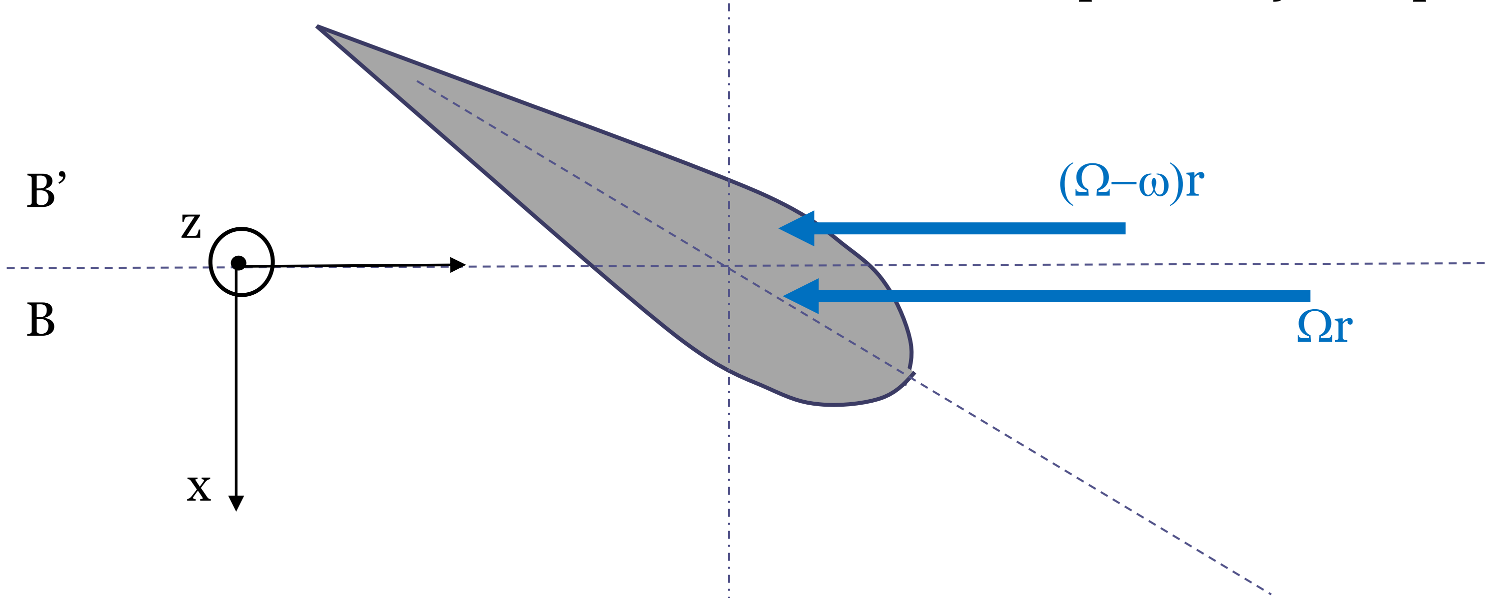
Além disso, sabemos que a esteira deixa o disco com uma **velocidade angular ω**

$$\boxed{\omega = 2a'\Omega}$$

A BEMT

Então, no fólio, há a seguinte situação:

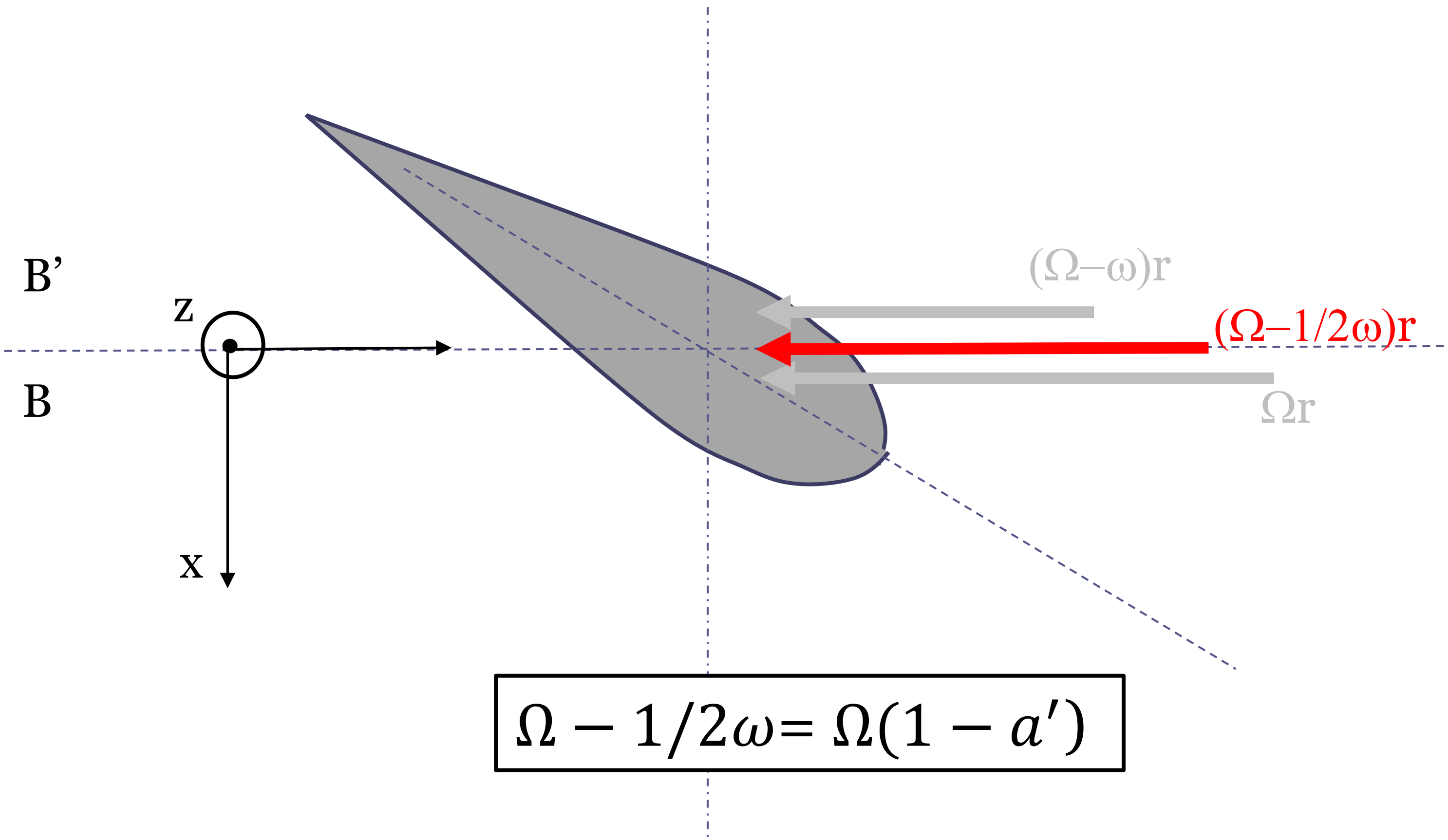
à jusante do disco: Velocidade angular do escoamento: ω
Velocidade relativa induzida pela rotação da pá: $\Omega - \omega$



à montante do disco: Velocidade angular do escoamento: nula
Velocidade relativa induzida pela rotação da pá: Ω

A BEMT

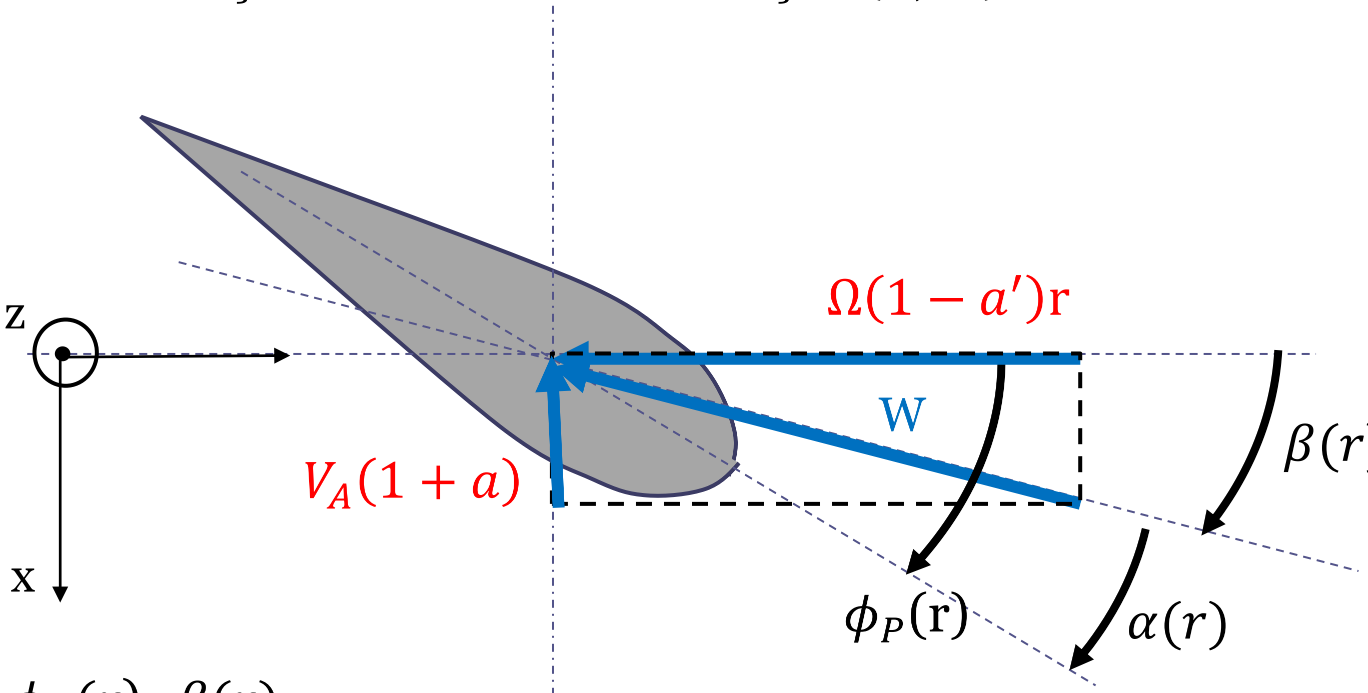
Convenciona-se, adotar, então:



$$\boxed{\Omega - 1/2\omega = \Omega(1 - a')}$$

A BEMT

Assim, as velocidades do escoamento sobre o elemento de pá serão agora escritas em função dos fatores de indução (a, a'):

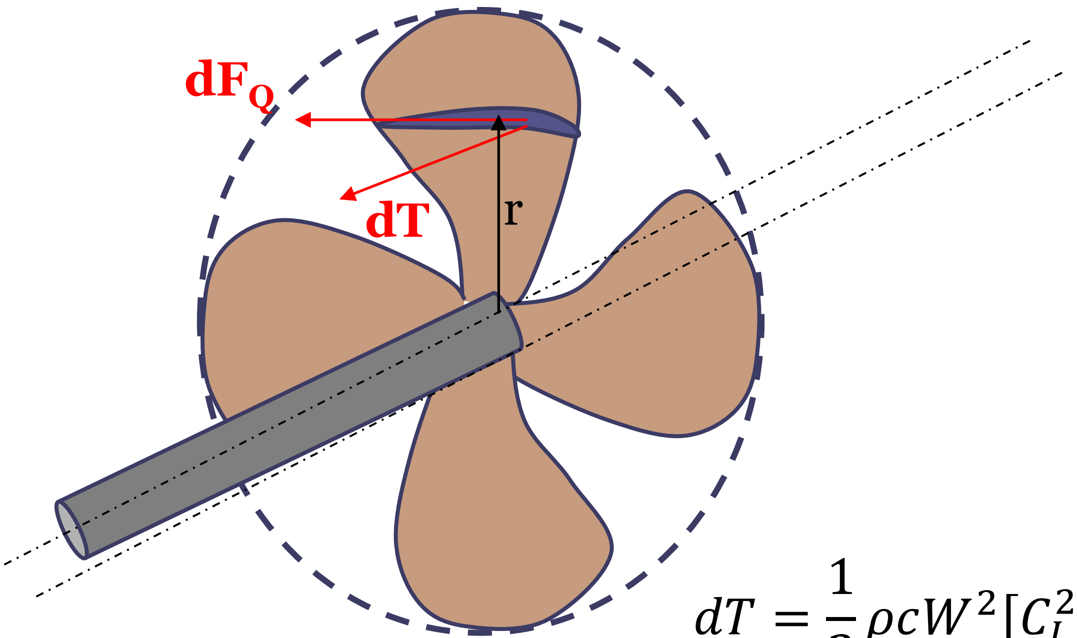


$$\alpha(r) = \phi_P(r) - \beta(r)$$

$$\beta(r) = atan\left(\frac{V_A(1+a)}{\Omega r(1-a')}\right)$$

A BEMT

Com isso, as expressões para o empuxo e o torque do elemento passam a depender apenas das incógnitas a e a':



a , a'

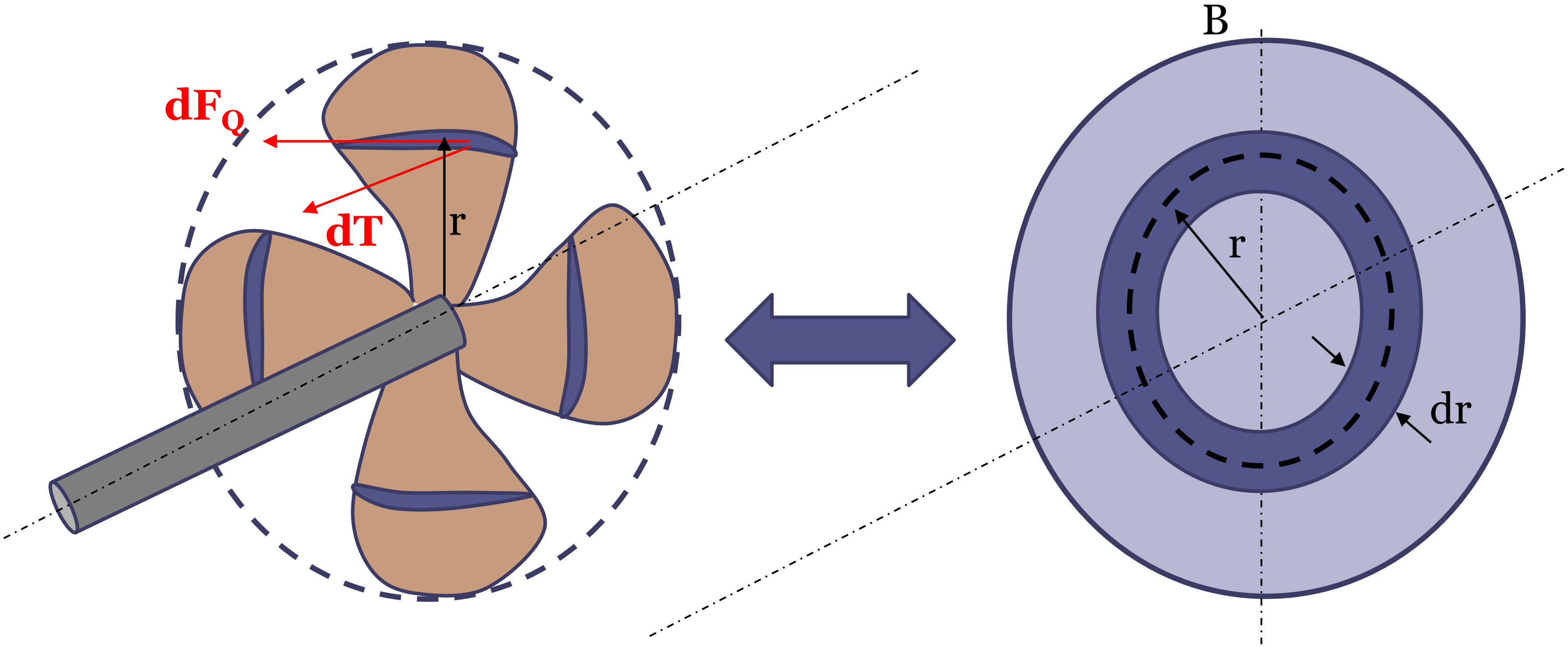
W,β,α

$$dT = \frac{1}{2}\rho c W^2[C_L^{2D}(\alpha)cos(\beta) - C_D^{2D}(\alpha)sin(\beta)]dr$$

$$dQ = \frac{1}{2}\rho c r W^2[C_L^{2D}(\alpha)sin(\beta) + C_D^{2D}(\alpha)cos\,(\beta)]dr$$

A BEMT

Por fim, devemos observar que as forças proporcionadas pelos N elementos de pá do propulsor, devem coincidir com aquelas previstas para o anel elementar do disco propulsor:



A BEMT

Então:

$$NdT = \frac{1}{2}\rho N c W^2 [C_L^{2D}(\alpha)cos(\beta) - C_D^{2D}(\alpha)sin(\beta)]dr = 4\rho\pi r {V_A}^2 a(1+a)dr$$

$$NdQ = \frac{1}{2}\rho N c r W^2 [C_L^{2D}(\alpha)sin(\beta) + C_D^{2D}(\alpha)cos(\beta)]dr = 4\rho\pi r^3 V_A \Omega a'(1+a)dr$$

Elemento de pá   Disco atuador

fornecem um sistema com duas equações e duas incógnitas (***a*, *a*'**), que pode ser resolvido através de algoritmos iterativos, uma vez conhecidos:

- geometria das pás
- coeficientes dos fólios que compõe as pás ($C_L^{2D}(\alpha)$, $C_D^{2D}(\alpha)$)
- V_A; Ω

A BEMT

Eficiência hidrodinâmica (η):

A eficiência hidrodinâmica do elemento de pá ou do anel atuador pode ser definida por:

$$\eta_r = \frac{dTV_A}{dQ\Omega}$$

e usando as relações deduzidas anteriormente é possível mostrar que:

$$\eta_r = \frac{(1-a')}{(1+a)} \frac{\tan(\beta)}{\tan(\beta+\gamma)}$$

a partir da qual costuma-se definir uma *eficiência ideal* do anel na forma:

$$\eta_{r,ideal} = \frac{1}{(1+a)}$$

da qual se conclui que: $\boldsymbol{\eta_{r,ideal} < 1}$

Avalie a coerência dessa expressão para $\eta_{r,ideal}$ do ponto de vista físico

A BEMT

OBSERVAÇÕES FINAIS:

- A BEMT é muito empregada atualmente para projetos de rotores de baixa solidez (turbinas eólicas, turbinas de correnteza, etc.);

- Algumas características dos propulsores navais, em especial a elevada solidez dos mesmos e os altos coeficientes de empuxo na operação, implicam em menor precisão desse modelo, favorecendo o emprego de métodos computacionais mais avançados;

- Do ponto de vista prático, a tarefa de seleção/dimensionamento do propulsor para determinada embarcação frequentemente recorre a dados experimentais pré-existentes (séries sistemáticas de propulsores)

(discussão nas próx. aulas)