

**Mecânica do Voo****Lista de exercícios 8 – Movimento Látero-direcional**

Questão 1 – Analise detalhadamente o sinal dos coeficientes de força lateral $C_{y\beta}$, $C_{y\delta_r}$ e $C_{y\delta_a}$, para $\beta > 0$, $\delta_r > 0$ e $\delta_a > 0$. Considere pequenos ângulos.

Questão 2 – Analise detalhadamente o sinal dos coeficientes de momento de rolamento $C_{l\delta_a}$ e momento de guinada $C_{n\delta_a}$ para $\delta_a > 0$. Considere pequenos ângulos. Qual desses coeficientes em geral assumem pequenos valores?

Questão 3 – Analise detalhadamente o sinal dos coeficientes de momento de rolamento $C_{l\delta_r}$ e momento de guinada $C_{n\delta_r}$ para $\delta_r > 0$. Considere pequenos ângulos. Qual desses coeficientes em geral assumem pequenos valores?

Questão 4 – Analise detalhadamente o sinal dos coeficientes de momento de rolamento $C_{l\beta}$ e momento de guinada $C_{n\beta}$ para $\beta > 0$. Considere pequenos ângulos.

Questão 5 – As equações do movimento para um voo horizontal estabilizado linearizadas para um avião simétrico desconsiderando os efeitos parasitas são dadas por:

$$\frac{1}{2} \rho_e S V_e^2 (C_{y\beta} \beta + C_{y\delta_r} \delta_r) + m g \sin \phi_1 = 0$$

$$C_{l\beta} \beta + C_{l\delta_a} \delta_a = 0$$

$$C_{n\beta} \beta + C_{n\delta_r} \delta_r = 0$$

Considere a derrapagem $\beta < 0$. Discuta **detalhadamente** o posicionamento da asa direita e as deflexões do leme e aileron.

Questão 6 – Sem as hipóteses simplificadoras, prove que as equações do movimento para um voo horizontal estabilizado linearizadas para um avião simétrico são:

$$\delta_r = \beta_e \frac{C_{l\beta} C_{n\delta_a} - C_{n\beta} C_{l\delta_a}}{C_{n\delta_r} C_{l\delta_a} - C_{n\delta_a} C_{l\delta_r}}$$

$$\delta_a = \beta_e \frac{C_{n\beta} C_{l\delta_r} - C_{l\beta} C_{n\delta_r}}{C_{n\delta_r} C_{l\delta_a} - C_{n\delta_a} C_{l\delta_r}}$$

$$\sin \phi_1 = - \frac{\rho_e S V_e^2 \beta_e}{2m g} \left(C_{y\beta} + \frac{(C_{l\beta} C_{n\delta_a} - C_{n\beta} C_{l\delta_a}) C_{y\delta_r} + (C_{n\beta} C_{l\delta_r} - C_{l\beta} C_{n\delta_r}) C_{y\delta_a}}{C_{n\delta_r} C_{l\delta_a} - C_{n\delta_a} C_{l\delta_r}} \right)$$

Questão 7 – Encontre as deflexões do leme, aileron e o ângulo de declive para um voo horizontal estabilizado linearizadas para os seguintes aviões simétricos

- Airbus com $H = 1000 \text{ km}$, $V_e = 100 \text{ m/s}$, $g = 9,804 \text{ m/s}^2$ e $\rho = 1,112 \text{ kg/m}^3$.
- Mirage III com $H = 1000 \text{ km}$, $V_e = 242,54 \text{ m/s}$, $g = 9,804 \text{ m/s}^2$ e $\rho = 1,112 \text{ kg/m}^3$.

Faça os cálculos usando hipótese simplificadoras e em seguida compare os resultados sem as hipóteses simplificadoras.

Questão 8 – As equações do movimento para um voo horizontal estabilizado linearizadas para um avião não simétrico com pane no motor esquerdo, desconsiderando os efeitos parasitas, são dadas por:



$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \rho_e S V_e^2 (C_{y_\beta} \beta + C_{y_{\delta_r}} \delta_r) + m g \sin \phi_1 &= 0 \\ C_{l_\beta} \beta + C_{l_{\delta_a}} \delta_a &= 0 \\ C_{n_\beta} \beta + C_{n_{\delta_r}} \delta_r + C_{n_F} &= 0\end{aligned}$$

- Considere a derrapagem nula $\beta = 0$. Discuta **detalhadamente** o posicionamento da asa direita e as deflexões do leme e aileron.
- Considere as asas niveladas $\phi_1 = 0$. Discuta **detalhadamente** o posicionamento da asa direita e as deflexões do leme e aileron.

Questão 9 – Sem as hipóteses simplificadoras, prove que as equações do movimento para um voo horizontal estabilizado linearizadas para um avião assimétrico, com pane no motor direito, são:

- Derrapagem nula $\beta = 0$.

$$\begin{aligned}\sin \phi_1 &= -\frac{1}{2} \frac{\rho_e S V_e^2}{m g} (C_{y_{\delta_a}} \delta_a + C_{y_{\delta_r}} \delta_r) \\ \delta_r &= C_{n_F} \frac{C_{l_{\delta_a}}}{\Delta_2} \\ \delta_a &= -C_{n_F} \frac{C_{l_{\delta_r}}}{\Delta_2}\end{aligned}$$

Com

$$\Delta_2 = C_{n_{\delta_a}} C_{l_{\delta_r}} - C_{n_{\delta_r}} C_{l_{\delta_a}}$$

- Asas niveladas $\phi_1 = 0$.

$$\begin{aligned}\beta &= -\frac{C_{n_F}}{K} \\ \delta_r &= \beta \frac{C_{y_\beta} C_{l_{\delta_a}} - C_{y_{\delta_a}} C_{l_\beta}}{\Delta_1} \\ \delta_a &= \beta \frac{C_{y_{\delta_r}} C_{l_\beta} - C_{y_\beta} C_{l_{\delta_r}}}{\Delta_1} \\ K &= C_{n_\beta} + \frac{(C_{y_\beta} C_{l_{\delta_a}} - C_{y_{\delta_a}} C_{l_\beta}) C_{n_{\delta_r}} + (C_{y_{\delta_r}} C_{l_\beta} - C_{y_\beta} C_{l_{\delta_r}}) C_{n_{\delta_a}}}{\Delta_1}\end{aligned}$$

Com

$$\Delta_1 = C_{y_{\delta_a}} C_{l_{\delta_r}} - C_{y_{\delta_r}} C_{l_{\delta_a}}$$

Questão 10 – Para o AIRBUS ao nível do mar em voo retilíneo, com $V_e = 60 \text{ m/s}$, $g = 9.804 \text{ m/s}^2$ e $\rho = 1,112 \text{ kg/m}^3$, $FE = 60000 \text{ N}$ e $FD = -2000 \text{ N}$, calcular:

- δ_a , δ_r e ϕ_1 para que a velocidade seja mantida no plano de simetria do Avião.
- δ_a , δ_r e β para um voo derrapado com asas niveladas.

Inicialmente despreze os coeficientes $C_{n_{\delta_a}}$, $C_{l_{\delta_r}}$, $C_{y_{\delta_a}}$. Tais aproximações são válidas para o AIRBUS? Justifique. A seguir realize os cálculos sem aproximações e compare os resultados obtidos nos dois casos.

Questão 11 – Para o MIRAGE III com $H = 1000 \text{ m}$ em voo retilíneo, com $V_e = 460 \text{ m/s}$, $g = 9.804 \text{ m/s}^2$ e $\rho = 1,112 \text{ kg/m}^3$, $FE = 55000 \text{ N}$ e $FD = 22000 \text{ N}$, calcular:

- δ_a , δ_r e ϕ_1 para que a velocidade seja mantida no plano de simetria do Avião.
- δ_a , δ_r e β para um voo derrapado com asas niveladas.



Inicialmente despreze os coeficientes $C_{n_{\delta_a}}$, $C_{l_{\delta_r}}$, $C_{y_{\delta_a}}$. Tais aproximações são válidas para o MIRAGE III? Justifique. A seguir realize os cálculos sem aproximações e compare os resultados obtidos nos dois casos.

Questão 12 – As equações do movimento para um voo curvilíneo horizontal linearizadas são dadas por:

$$\begin{aligned}\Omega V_e \cos \phi - Y_\beta \beta - Y_{\delta_r} \delta_r - Y_{\delta_a} \delta_a - g \sin \phi &= 0 \\ l_\beta \beta + l_r \Omega + l_{\delta_a} \delta_a + l_{\delta_r} \delta_r &= 0 \\ n_\beta \beta + n_r \Omega + n_{\delta_a} \delta_a + n_{\delta_r} \delta_r &= 0\end{aligned}$$

Considere uma curva à esquerda ($\Omega < 0$) e desconsidere efeitos parasitas. Discuta detalhadamente o posicionamento da asa esquerda e as deflexões do leme e aileron para os seguintes casos particulares:

- i. Curva com inclinação lateral nula $\varphi = 0$
- ii. Curva com ângulo de derrapagem nulo $\beta = 0$
- iii. Curva apenas com o manche $\delta_r = 0$
- iv. Curva apenas com os pedais (leme de direção) $\delta_a = 0$

Questão 13 – Considere o avião AIRBUS em um voo curvilíneo horizontal estabilizado com $\Omega = 30^\circ/\text{min}$, $H = 9000 \text{ km}$, $V_e = 200 \text{ m/s}$, $g = 9,7711 \text{ m/s}^2$ e $\rho = 0,4663 \text{ kg/m}^3$. Calcule e discuta posicionamento da asa direita e as deflexões do leme e aileron para os seguintes casos particulares:

- i. Curva com inclinação lateral nula $\varphi = 0$
- ii. Curva com ângulo de derrapagem nulo $\beta = 0$
- iii. Curva apenas com o manche $\delta_r = 0$
- iv. Curva apenas com os pedais (leme de direção) $\delta_a = 0$

Questão 14 – Considere o avião Mirage III em um voo curvilíneo horizontal estabilizado com $\Omega = -60^\circ/\text{min}$, $H = 4000 \text{ km}$, $V_e = 720,53 \text{ m/s}$, $g = 9,7864 \text{ m/s}^2$ e $\rho = 0,8191 \text{ kg/m}^3$. Calcule e discuta posicionamento da asa direita e as deflexões do leme e aileron para os seguintes casos particulares:

- i. Curva com inclinação lateral nula $\varphi = 0$
- ii. Curva com ângulo de derrapagem nulo $\beta = 0$
- iii. Curva apenas com o manche $\delta_r = 0$
- iv. Curva apenas com os pedais (leme de direção) $\delta_a = 0$