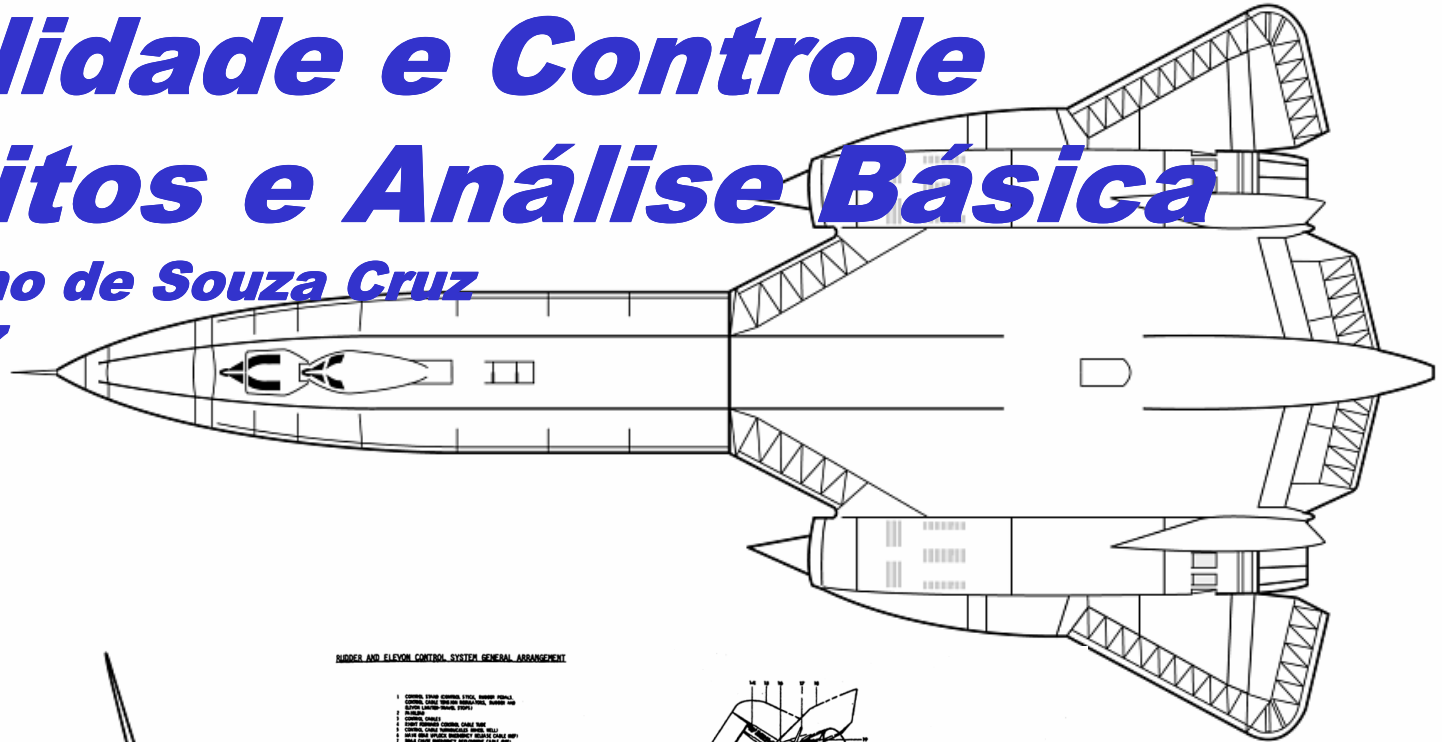


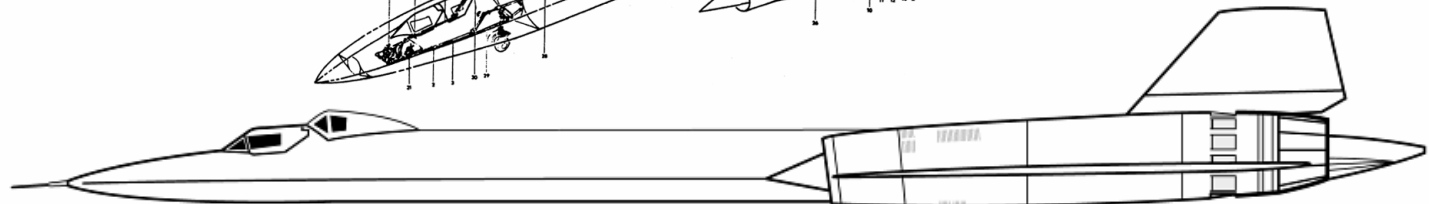
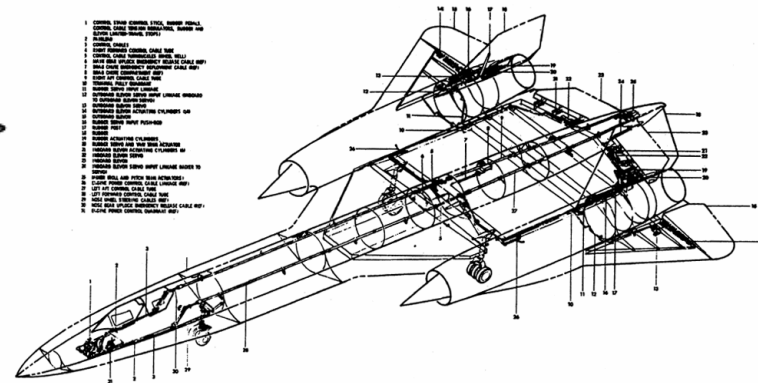
Estabilidade e Controle Conceitos e Análise Básica

Lucas Rubiano de Souza Cruz
Maio de 2007



NUMBER AND ELEVATOR CONTROL SYSTEM GENERAL ARRANGEMENT

- 1. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 2. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 3. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 4. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 5. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 6. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 7. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 8. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 9. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 10. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 11. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 12. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 13. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 14. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 15. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 16. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 17. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 18. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 19. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 20. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 21. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 22. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 23. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 24. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 25. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 26. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 27. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 28. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 29. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 30. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 31. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 32. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 33. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 34. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 35. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 36. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 37. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 38. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 39. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 40. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 41. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 42. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 43. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 44. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 45. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 46. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 47. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 48. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 49. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 50. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 51. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 52. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 53. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 54. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 55. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 56. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 57. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 58. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 59. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 60. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 61. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 62. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 63. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 64. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 65. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 66. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 67. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 68. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 69. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 70. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 71. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 72. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 73. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 74. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 75. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 76. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 77. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 78. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 79. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 80. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 81. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 82. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 83. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 84. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 85. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 86. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 87. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 88. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 89. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 90. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 91. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 92. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 93. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 94. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 95. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 96. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 97. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 98. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 99. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM
- 100. MAIN ENGINE CONTROL SYSTEM



Objetivo



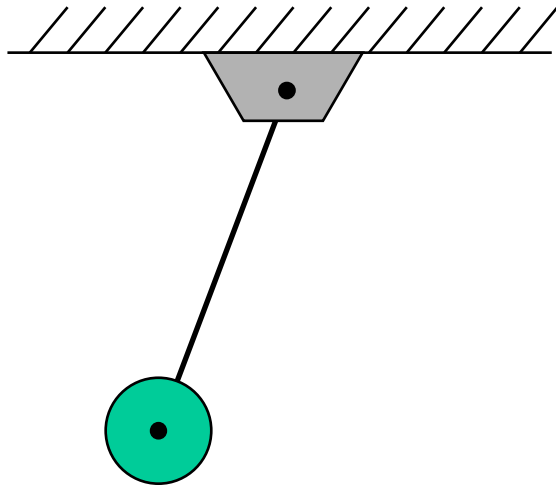
- **Apresentar conceitos básicos de estabilidade e controle de aeronaves;**
- **Apresentar a relação destes conceitos com o projeto e a construção de aeromodelos para o Aerodesign.**

Tópicos

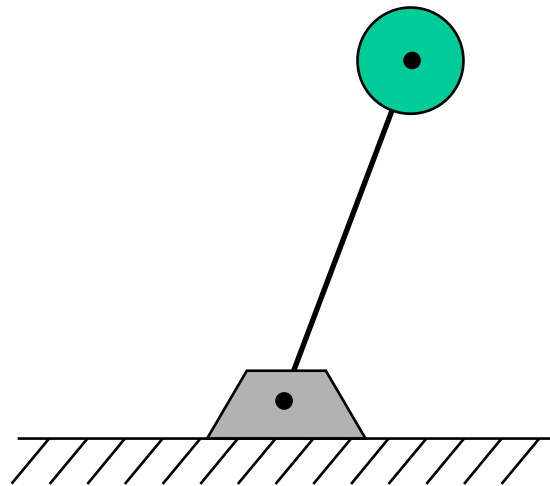
- **Estabilidade**
- **Estabilidade Estática Longitudinal**
- **Volume de Cauda da EH**
- **Balanceamento**
- **Estabilidade Estática Látero-Direcional**
- **Volume de Cauda da EV**
- **Diedro e Posição da Asa**
- **Estabilidade Dinâmica**
- **Controle**
- **Controle na Decolagem**
- **Controle em Manobra**
- **Controle em Falha de Motor (OPEN)**
- **Volume de Controle**

Estabilidade

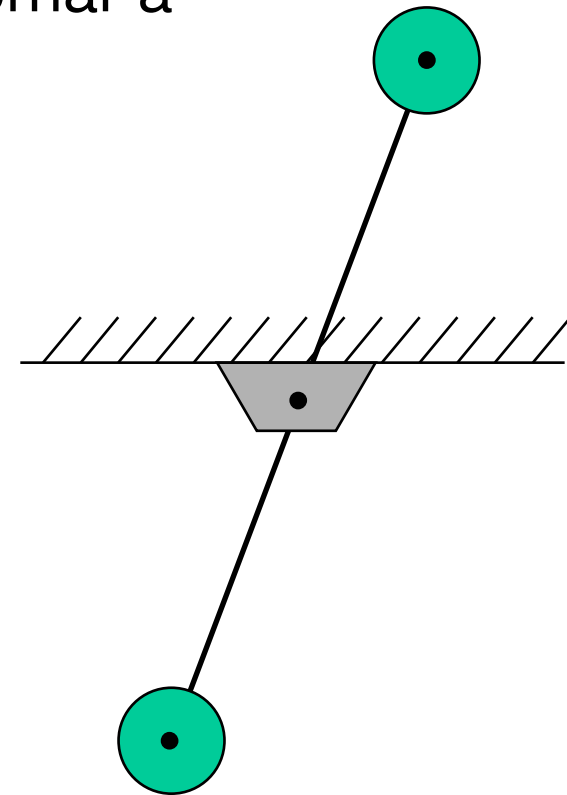
Estabilidade: Tendência de sempre retornar a uma situação de equilíbrio.



Equilíbrio
Estável



Equilíbrio
Instável



Equilíbrio
Neutro

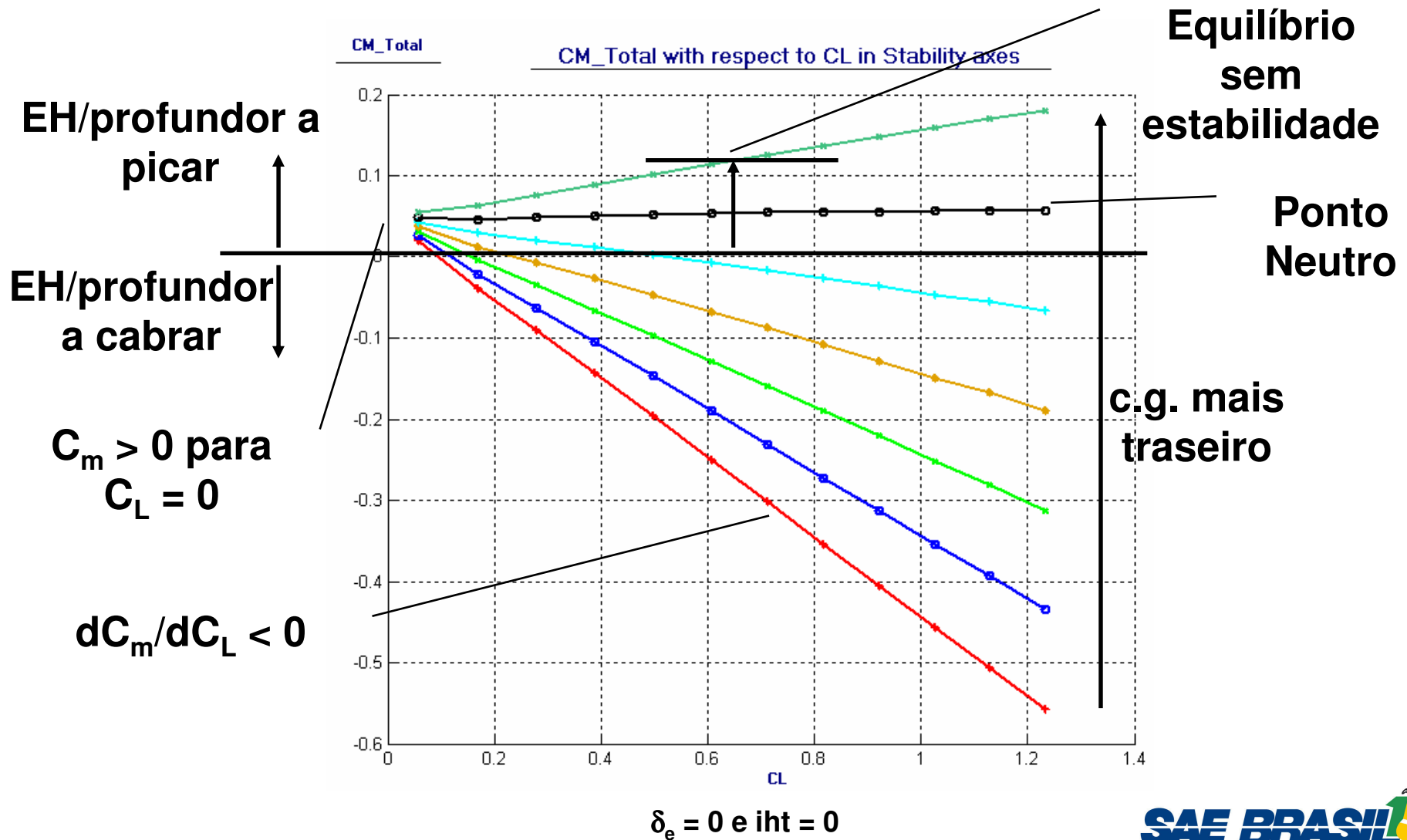
Est. Estática Longitudinal

- Tendência de retornar ao equilíbrio após uma perturbação;



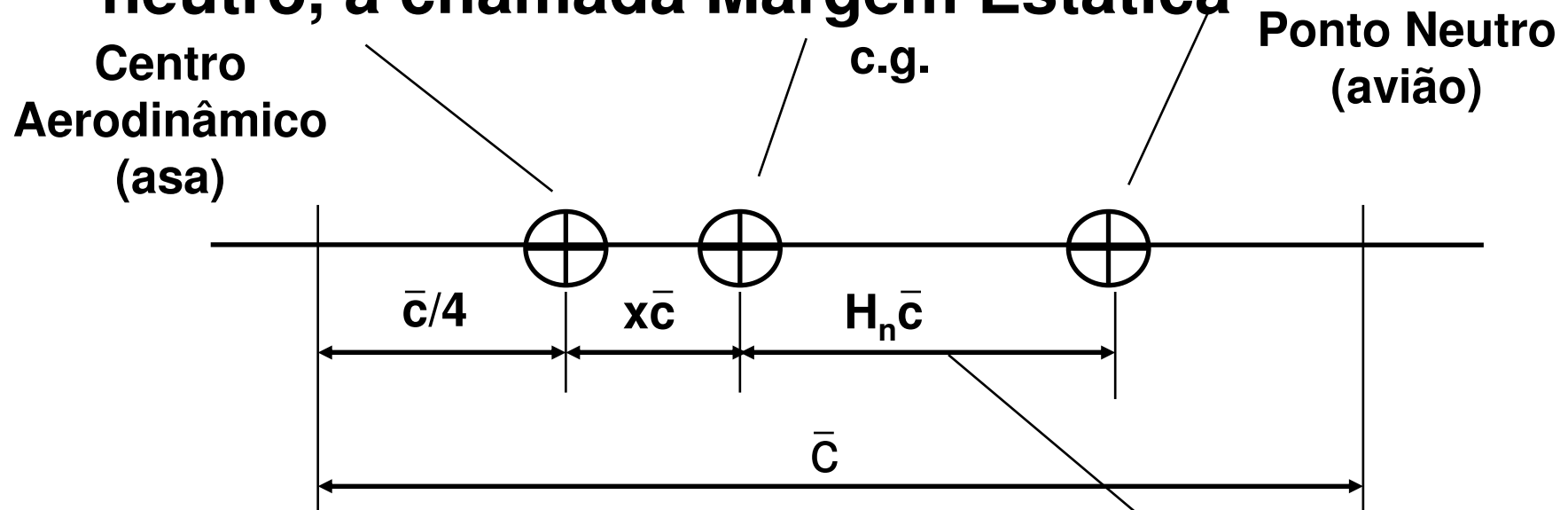
- Indica também a consonância da variação de velocidade e de ângulo de ataque em regime com o movimento inicial do avião.

Est. Estática Longitudinal



Est. Estática Longitudinal

- Estabilidade Estática pode ser medida pela distância entre o centro de gravidade e o ponto neutro, a chamada Margem Estática



Est. Estática Longitudinal

- **Margem estática:**
 - **Manche fixo (profundo)**
 - **Manche livre (“hinge” nulo);**
- **Para aeromodelos, mecanismo estática manche fixo é mais adequada. mecanismo mantém profundo**

LEMBRAR QUE SERVO-MECANISMO DEVE SER DIMENSIONADO PARA SUPORTAR OS HINGES!!!

Est. Estática Longitudinal

➤ Margem Estática (manche fixo)

$$-H_n = \frac{\partial C_M}{\partial C_L} = - \left[\bar{V}_{ht} \frac{a_{1T}}{a_1} (1-k) - x \right]$$

$-H_n$ Margem estática

\bar{V}_{ht} Volume de cauda

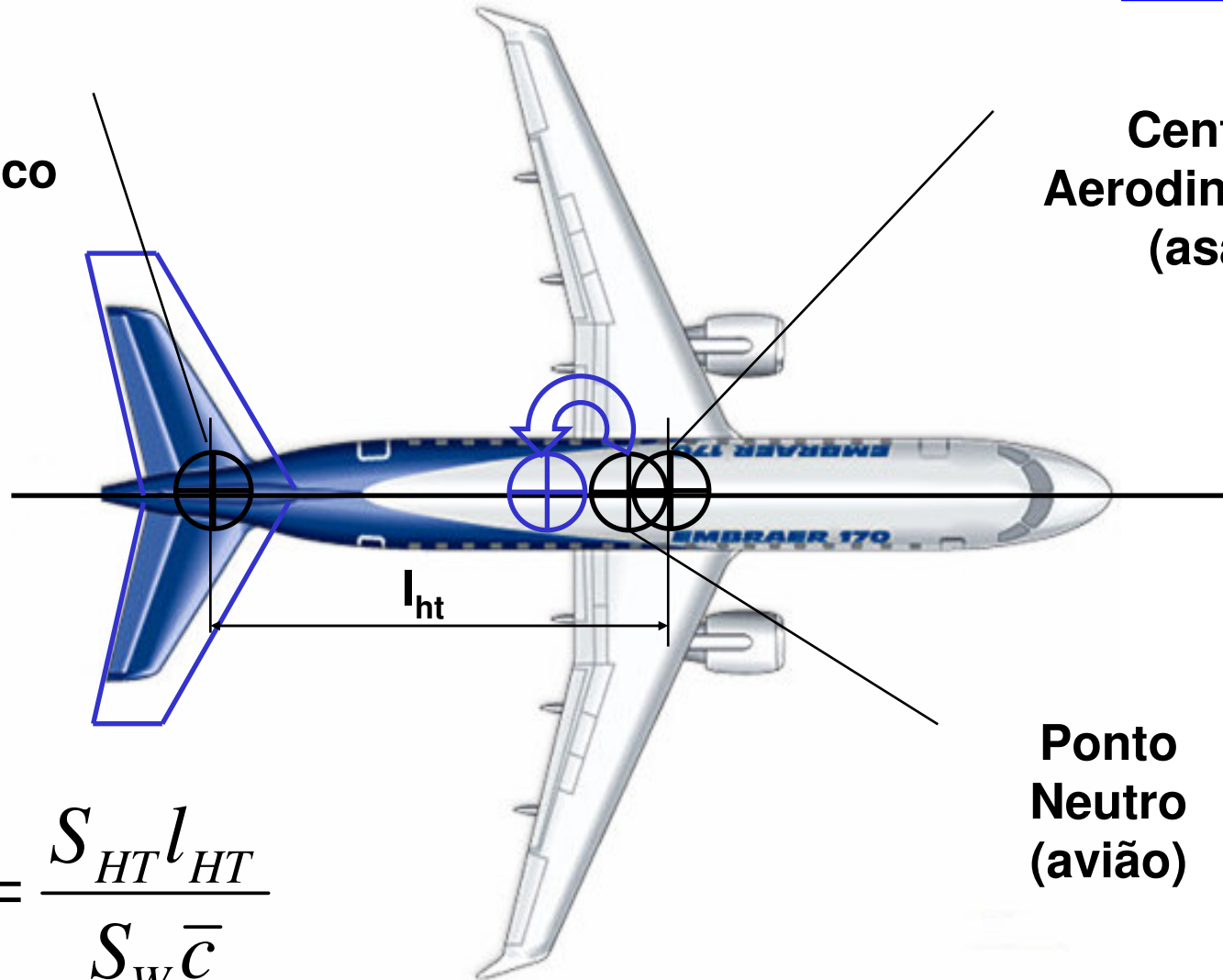
$\frac{a_{1T}}{a_1}$ Distância do ponto neutro ao c.a. da asa

x Distância do c.g. ao c.a. da asa

Volume de Cauda EH

Centro
Aerodinâmico
(EH)

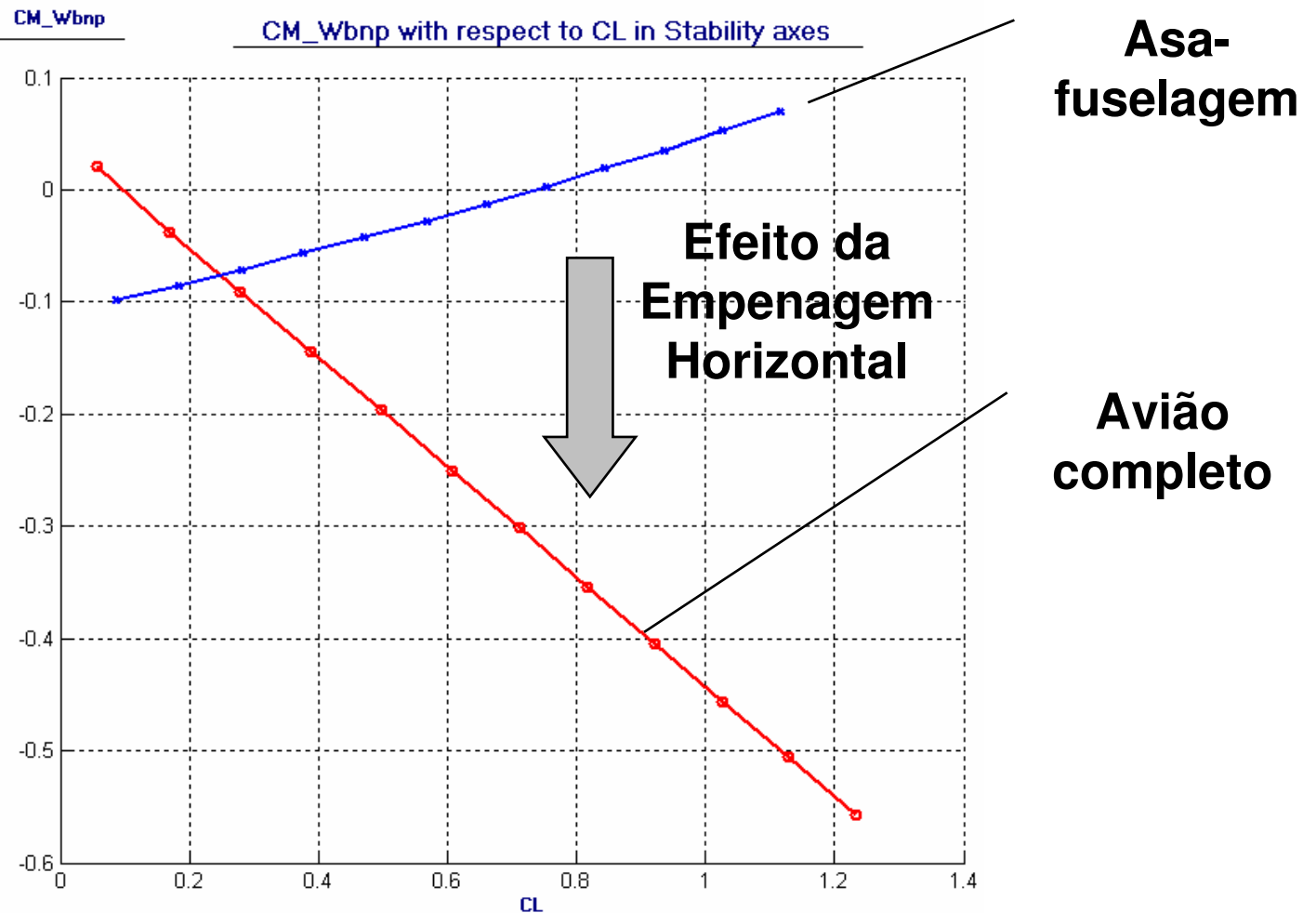
Centro
Aerodinâmico
(asa)



Ponto
Neutro
(avião)

$$\bar{V}_{ht} = \frac{S_{HT} l_{HT}}{S_W \bar{c}}$$

Est. Estática Longitudinal

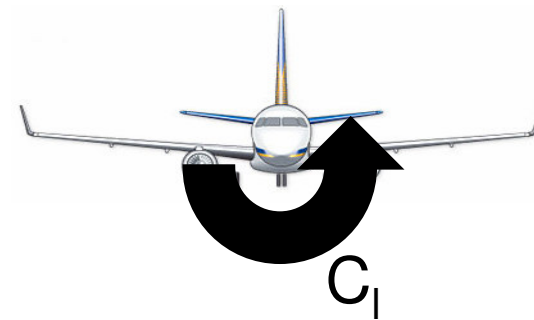
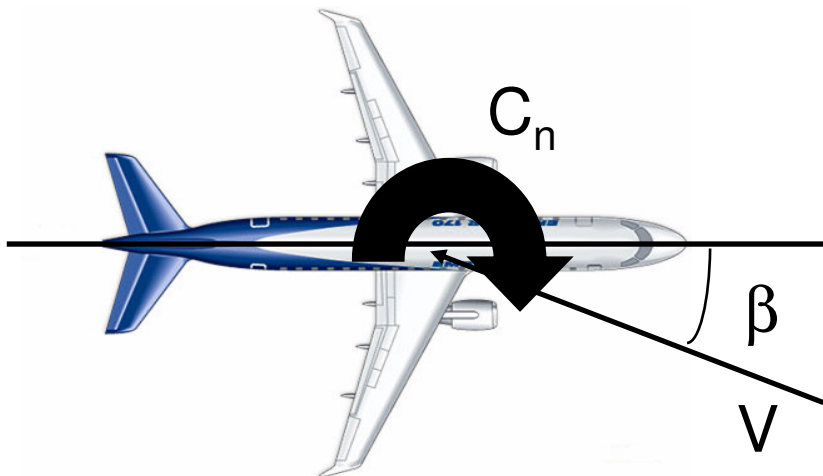


Balanceamento

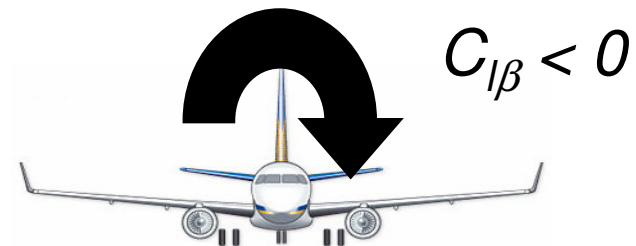
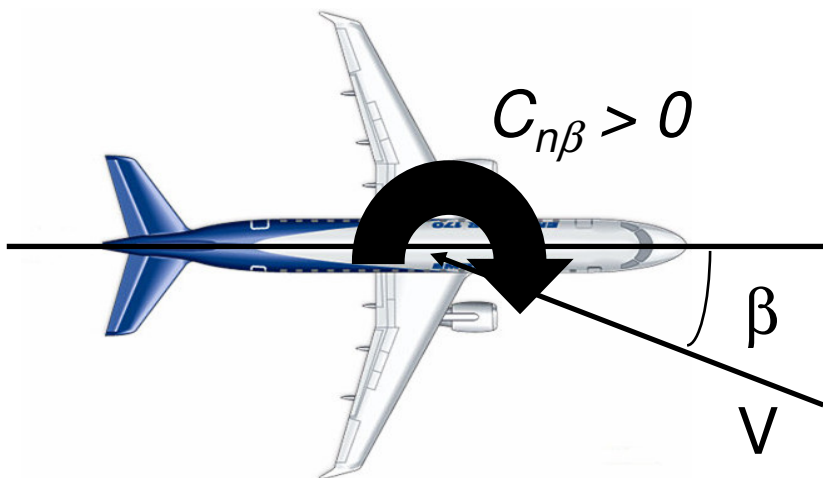
- Ponto neutro não depende de c.g., porém margem estática depende;
- Mudanças de Balanceamento alteram a estabilidade!



- A estabilidade estática látero-direcional é avaliada em função de dois parâmetros adimensionais, $C_{n\beta}$ e $C_{l\beta}$;



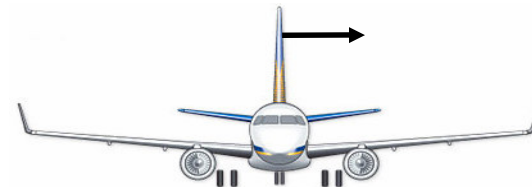
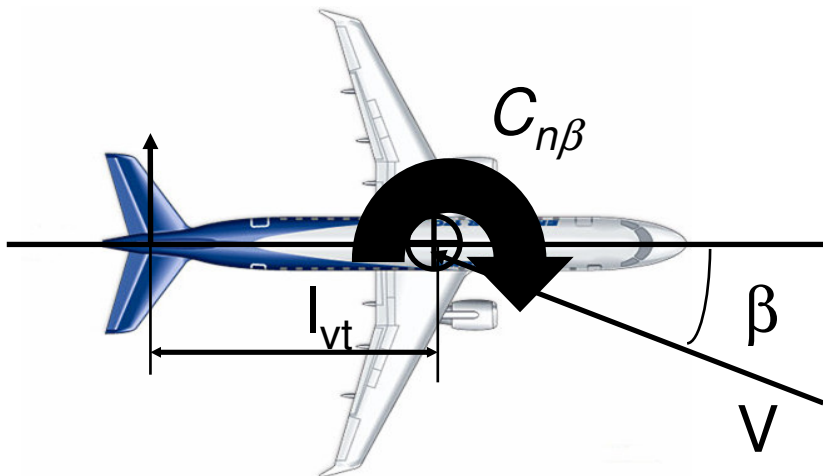
- Estabilidade direcional ($C_{n\beta} > 0$) – aeronave aproa o vento sob rajada, contribui para estabilidade dinâmica e garante consonância entre movimento inicial e regime;
- Estabilidade lateral ($C_{l\beta} < 0$) – comportamento convencional para controle em derrapagem;



Volume de Cauda EV

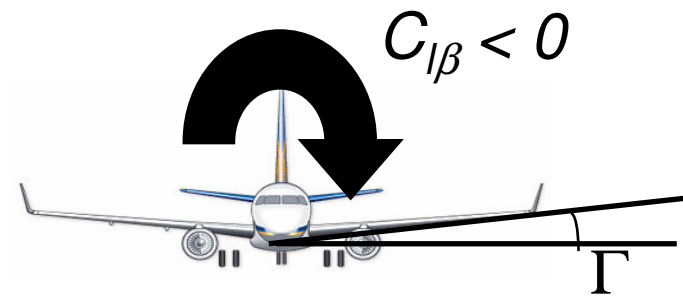
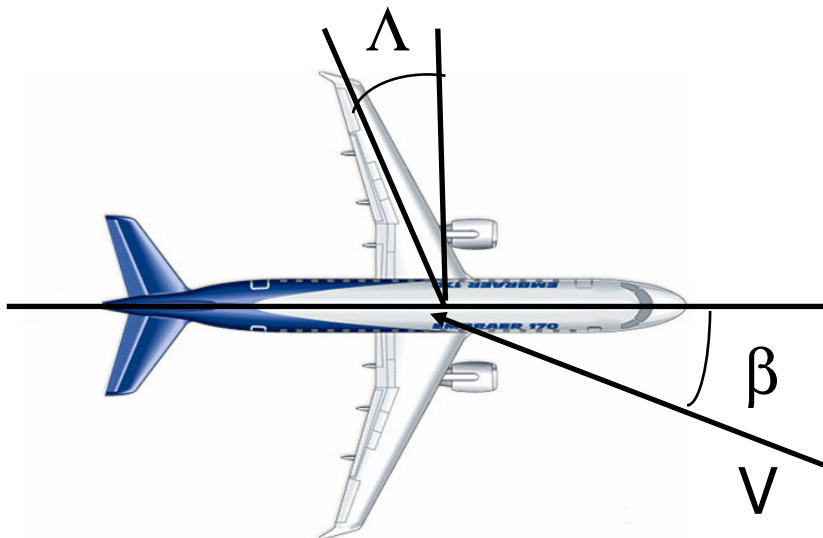
- Principal contribuição para $C_{n\beta}$ é a força normal na empenagem vertical;
- Daí a importância do volume de cauda da empenagem vertical;

$$\bar{V}_{vt} = \frac{S_{vt} l_{vt}}{S_w b}$$



Diedro e Posição da Asa

- Os principais fatores que afetam $C_{l\beta}$ são:
 - Posição da asa (mais alta aumenta estabilidade);
 - Diedro (maior aumenta estabilidade);
 - Enflechamento (maior aumenta estabilidade);
 - Empenagem (maior aumenta estabilidade);



Est. Dinâmica Longitudinal

- **Período curto:**
 - **Oscilação primariamente em velocidade de arfagem e ângulo de ataque;**
 - **Velocidade e trajetória praticamente constantes;**
 - **Movimento rápido, deve ser estável!**



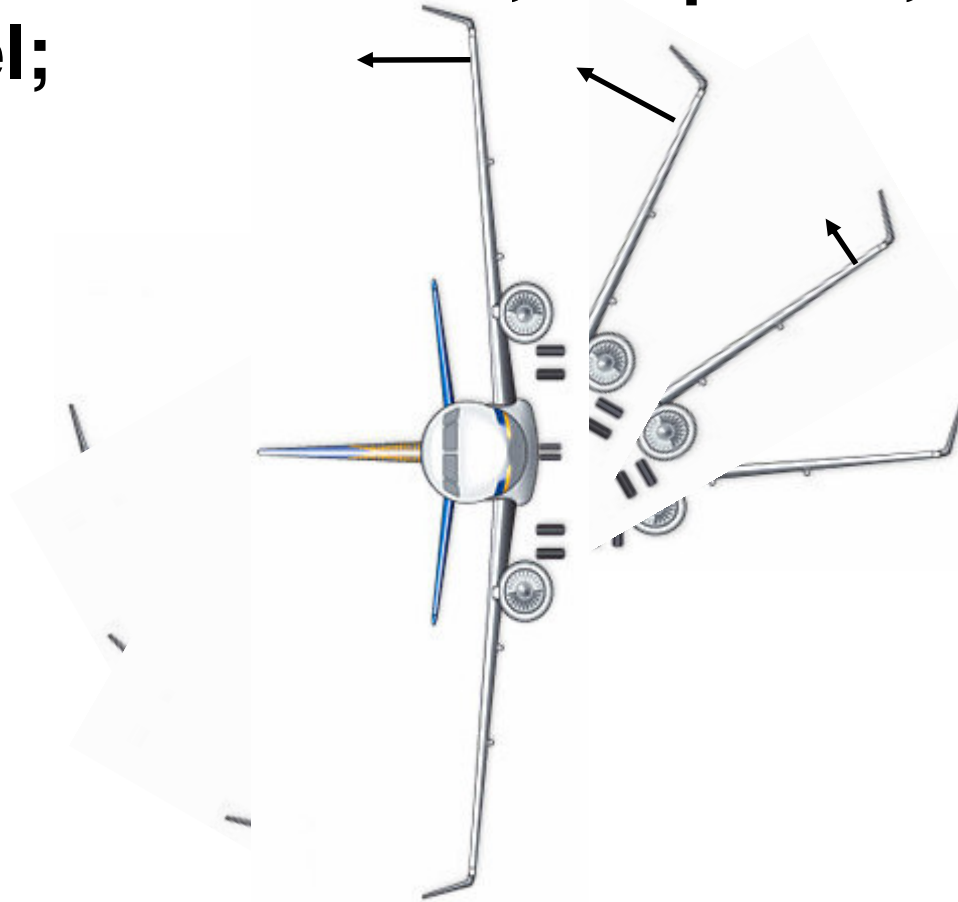
Est. Dinâmica Longitudinal

- **Fugóide:**
 - **Oscilação primariamente em velocidade e trajetória (energia cinética e energia potencial);**
 - **Ângulo de ataque praticamente constante;**
 - **Movimento lento, mas amplo, em geral pouco amortecido, mas desejável estável;**



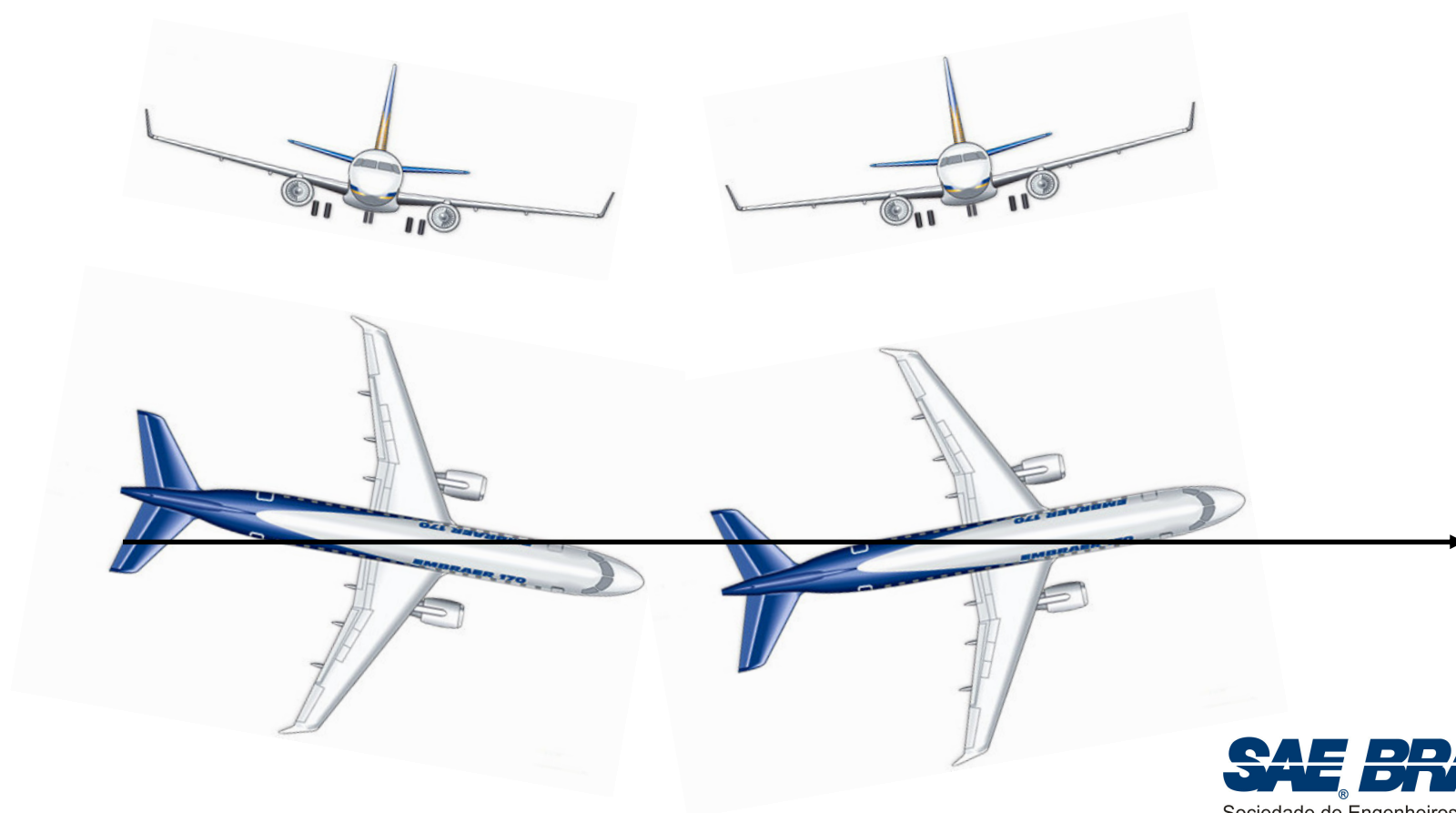
Estab. Din. Látero-Direcional

- **Modo de rolamento: inércia até atingir taxa de rolamento constante, é rápido e, em geral, estável;**



Estab. Din. Látero-Direcional

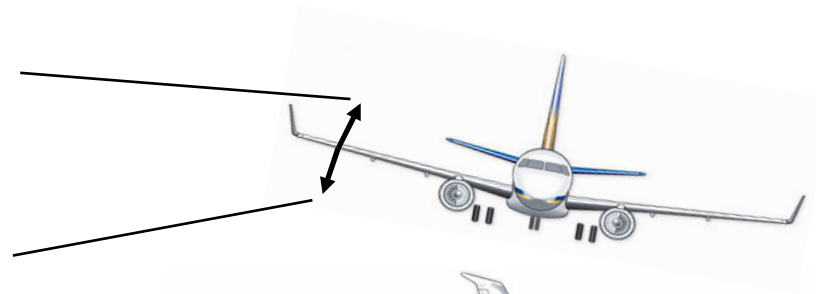
- “Dutch-roll”: oscilação conjunta em guinada e rolamento. Dinâmica rápida, deve ser estável!



Estab. Din. Látero-Direcional

- **Modo espiral: lentíssimo movimento em rolamento e guinada, em geral está próximo do neutro, ligeira instabilidade é tolerável;**

Instável



Estável



Estabilidade Dinâmica



- **Em geral, características adequadas de estabilidade estática (longitudinal e látero-direcional) produzem características aceitáveis de estabilidade dinâmica para configurações convencionais!!!**

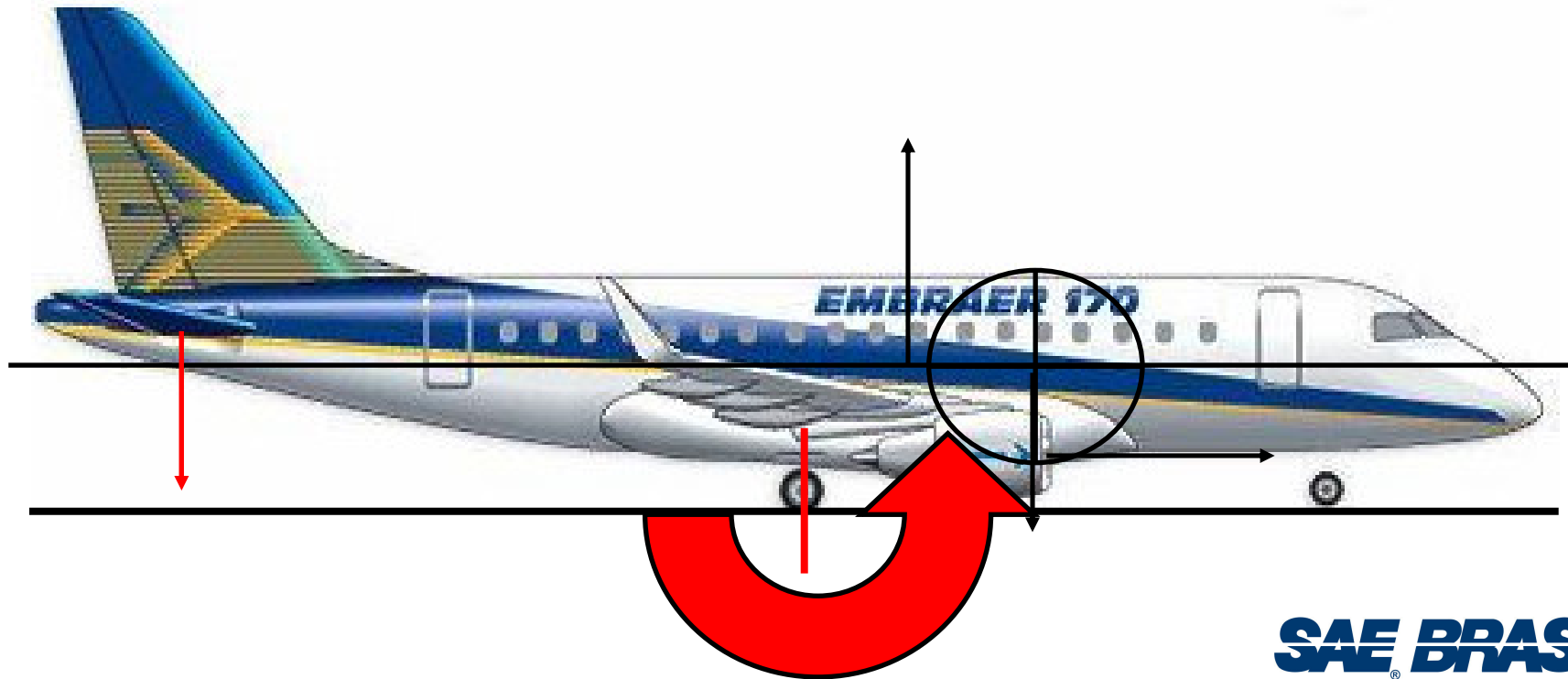
Controle

Controle: Capacidade de manobrar a aeronave para uma condição desejada ou mantê-la nesta condição.



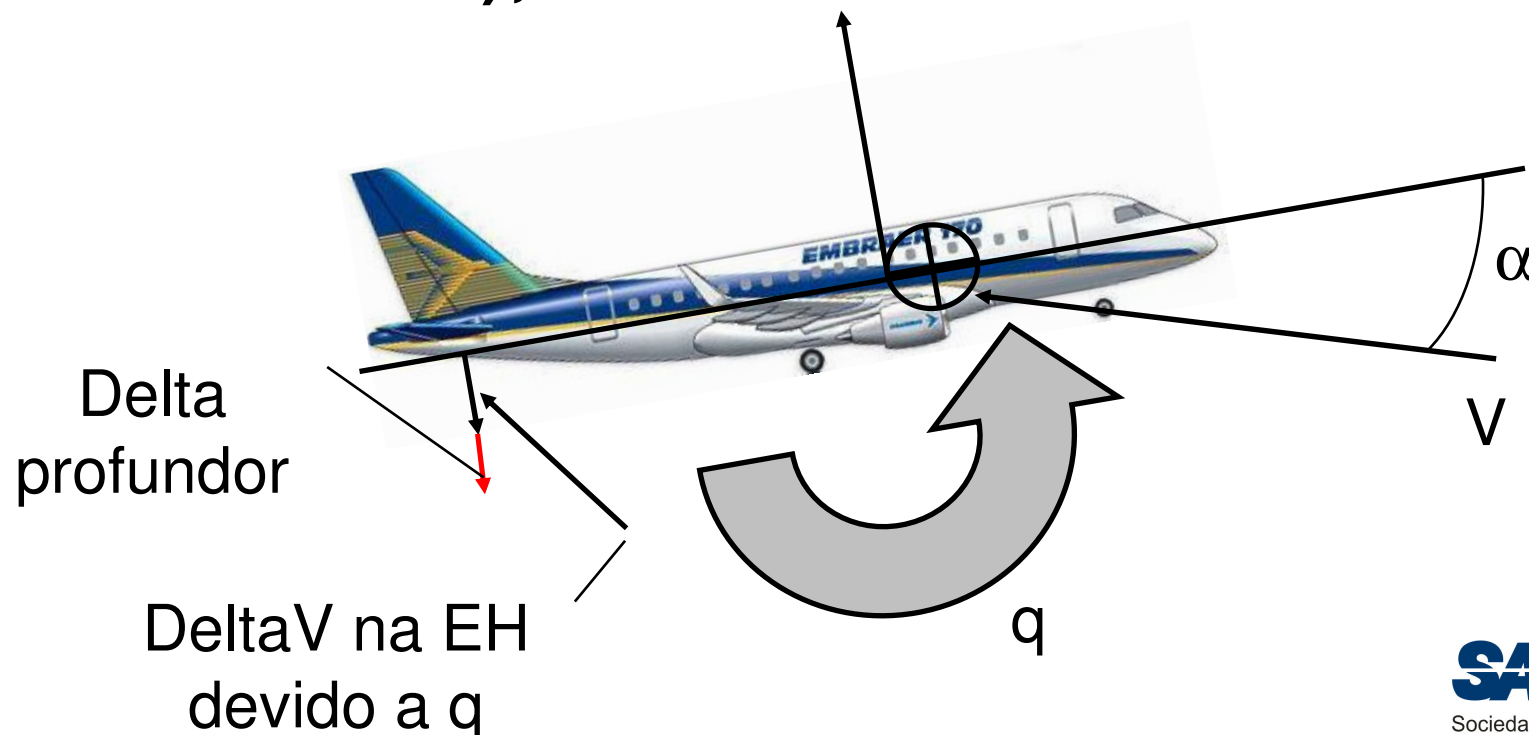
Controle na Decolagem

- Aeronave deve ter controle suficiente para rotação em torno DO TREM DE POUSO na decolagem;



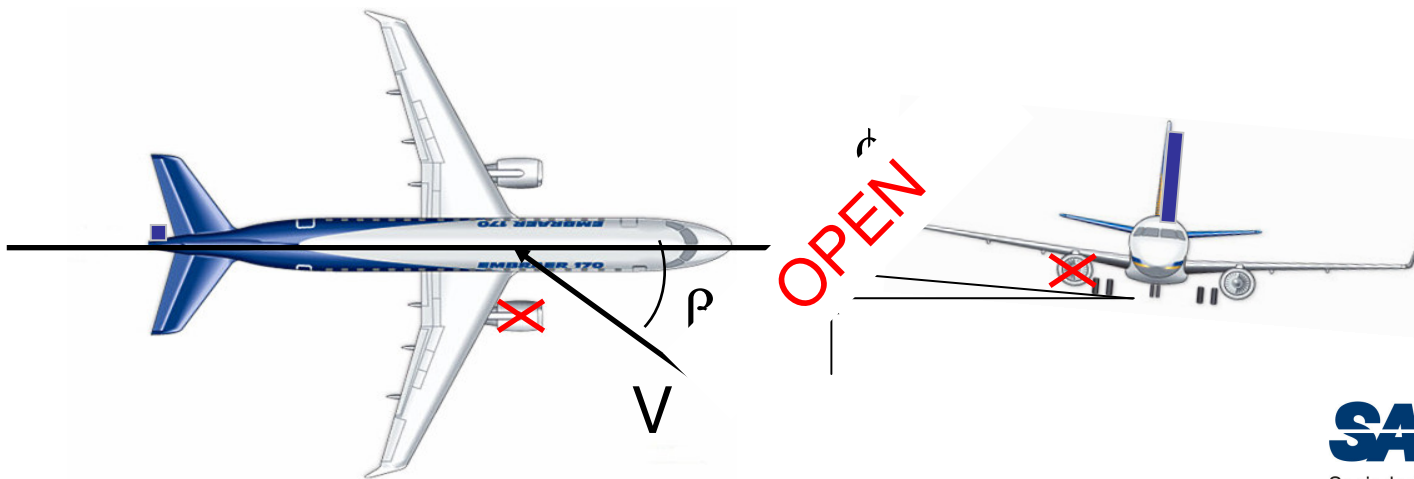
Controle em Manobra

- **Aeronave deve ser capaz de manobra com velocidade de arfagem constante (o que implica em fator de carga e ângulo de ataque constante);**



Controle em Falha de Motor

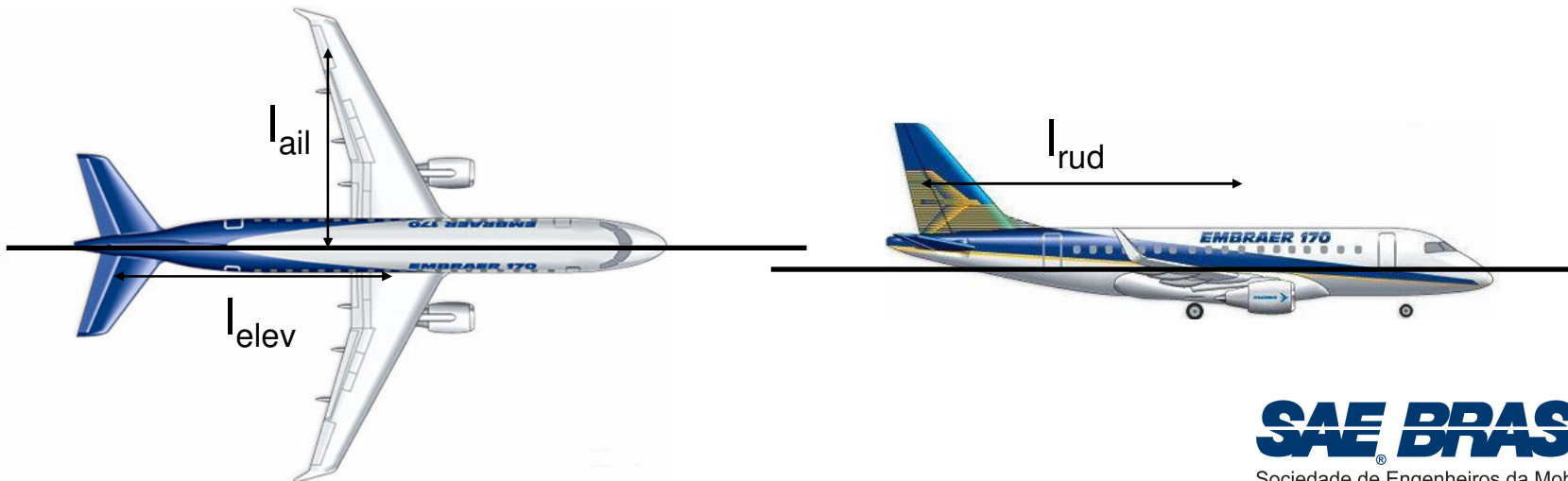
- Leme suficiente para compensar momento do motor ainda em funcionamento (em solo) e derrapagem (no ar);
- Aileron suficiente para controlar rolamento;
- Ângulo de rolamento pode ser usado para diminuir derrapagem;



Volume de controle

- De forma semelhante à estabilidade, volume de controle pode ser usado como referência de capacidade de controle;

$$\bar{V}_{elev} = \frac{S_{elev} l_{elev}}{S_W \bar{c}} \quad \bar{V}_{rud} = \frac{S_{rud} l_{rud}}{S_W b} \quad \bar{V}_{ail} = \frac{S_{ail} l_{ail}}{S_W b}$$



Discussões

