

INTRODUÇÃO AO DESEMPENHO DE AERONAVES PARTE 08



Introdução ao Desempenho de Aeronaves - Prof. Dr. Rogério F. F. Coimbra

MÉTODO DA ENERGIA

Aeronaves de grande desempenho, como caças supersônicos, são capazes de subir verticalmente em voo acelerado

Algumas ainda são capazes de fazê-lo em regime supersônico

Para a análise do desempenho dessas aeronaves emprega-se o “*método da energia*” ou “*razão de subida acelerada*” pois o cálculo da razão de subida estática apresentada anteriormente não se aplica

MÉTODO DA ENERGIA

Considere uma anv em vôo nivelado numa certa velocidade (V) e altitude (h)

✓ V → energia cinética (E_C) → $E_C = \frac{1}{2}.m.V^2$

✓ h → energia potencial (E_P) → $E_P = m.g.h$

Portanto a energia total da anv é

$$E_{ANV} = E_P + E_C = m.g.h + \frac{1}{2}.m.V^2$$

Energia específica (H_E):

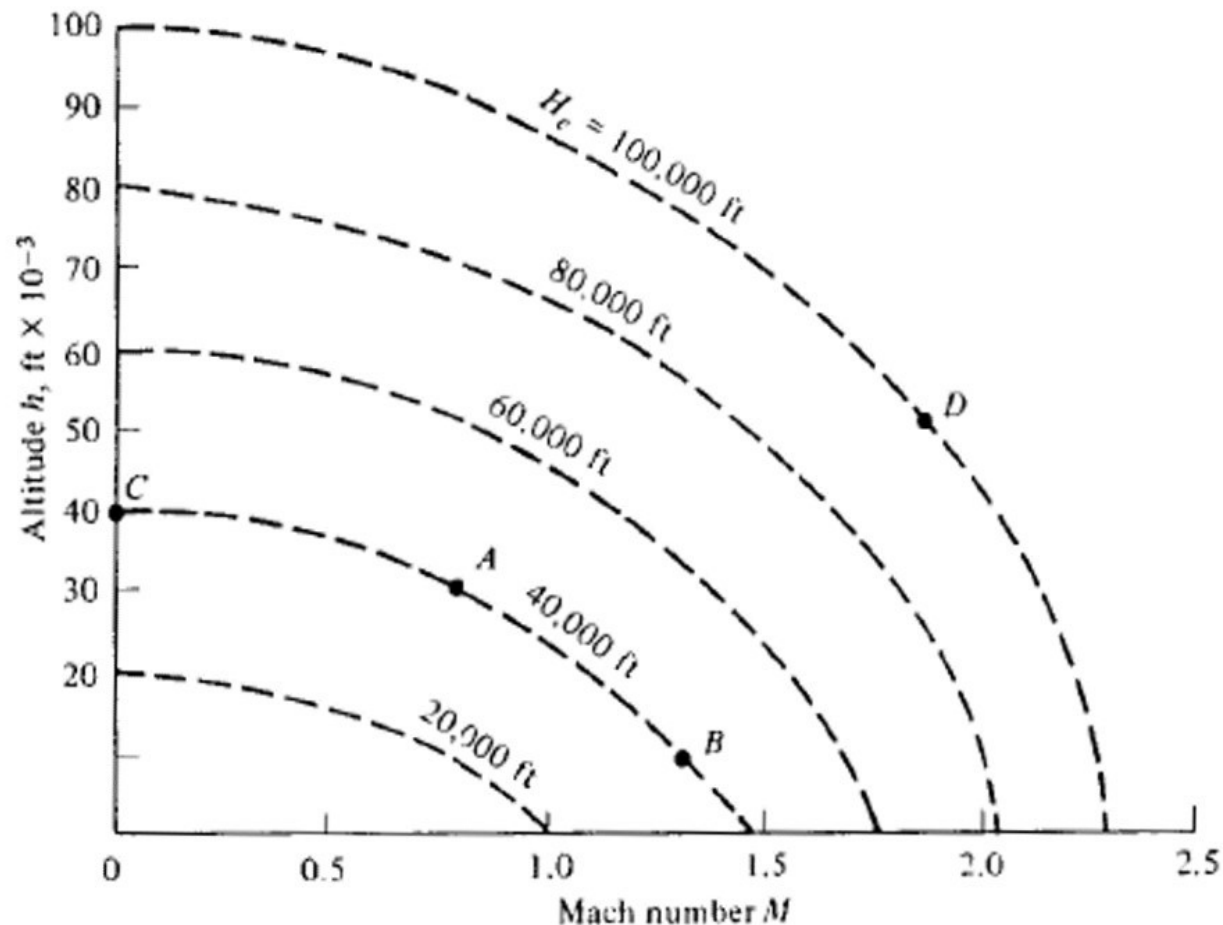
$$H_E = E_{ANV} / W = (m.g.h + \frac{1}{2}.m.V^2) / m.g$$

Logo

$$H_e = h + \frac{V^2}{2g}$$

MÉTODO DA ENERGIA

A H_E tem unidade de altura (compr.) e é tb chamada de altura-energia da anv. As linhas de H_E ctes são plotadas num gráfico chamado mapa '*Altitude-Mach*'



MÉTODO DA ENERGIA

No mapa *Altitude-Mach*, verifica-se que as anv A, B e C possuem a mesma energia específica, apesar de voarem em altitudes e velocidades diferentes

Já a anv D apresenta energia específica superior

Em combate aéreo é muito vantajoso possuir maior energia específica do que o seu adversário

Portanto, surgem as seguintes questões

- como uma anv pode aumentar seu estado de energia específica?
- como as anv A, B e C podem aumentar sua energia específica para igualar a H_E da anv D?

MÉTODO DA ENERGIA

No diagrama de forças que atuam em uma anv tem-se

$$T - D - W \sin \theta = m \frac{dV}{dt}$$

Sendo $m = W/g$

$$T - D = W \left(\sin \theta + \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} \right)$$

Multiplicando por V/W

$$\frac{TV - DV}{W} = V \sin \theta + \frac{V}{g} \frac{dV}{dt}$$

Sendo $V \cdot \sin \theta = R/C = dh/dt$

$$\frac{TV - DV}{W} = \frac{\text{excess power}}{W} \equiv P_s$$

P_s = excesso de pot. específico

$$P_s = \frac{dh}{dt} + \frac{V}{g} \frac{dV}{dt}$$

MÉTODO DA ENERGIA

A equação anterior demonstra que:

“uma anv com excesso de potência pode usar essa sobra para ganhar altitude (dh/dt), ou acelerar ao longo de sua trajetória (dV/dt) ou fazer uma combinação de ambos”

Diferenciando a H_E em relação ao tempo, tem-se

$$\frac{dH_e}{dt} = \frac{dh}{dt} + \frac{V}{g} \frac{dV}{dt}$$

Conclui-se então

$$P_s = \frac{dH_e}{dt}$$

MÉTODO DA ENERGIA

O que significa que uma anv pode alterar sua energia aplicando o excesso de potência ou, definindo com mais rigor:

“a taxa de variação horária da altura-energia é igual ao excesso de potência específico”

Portanto, as anv A, B e C podem alcançar o mesmo estado de energia da anv D se tiverem excesso de potência para tal

E surge, então, a próxima pergunta:

Como determinar se uma anv possui P_s suficiente para alcançar uma determinada H_E ?

MÉTODO DA ENERGIA

Inicialmente, lembrar que

$$\text{Excesso de potência} = P_A - P_R$$

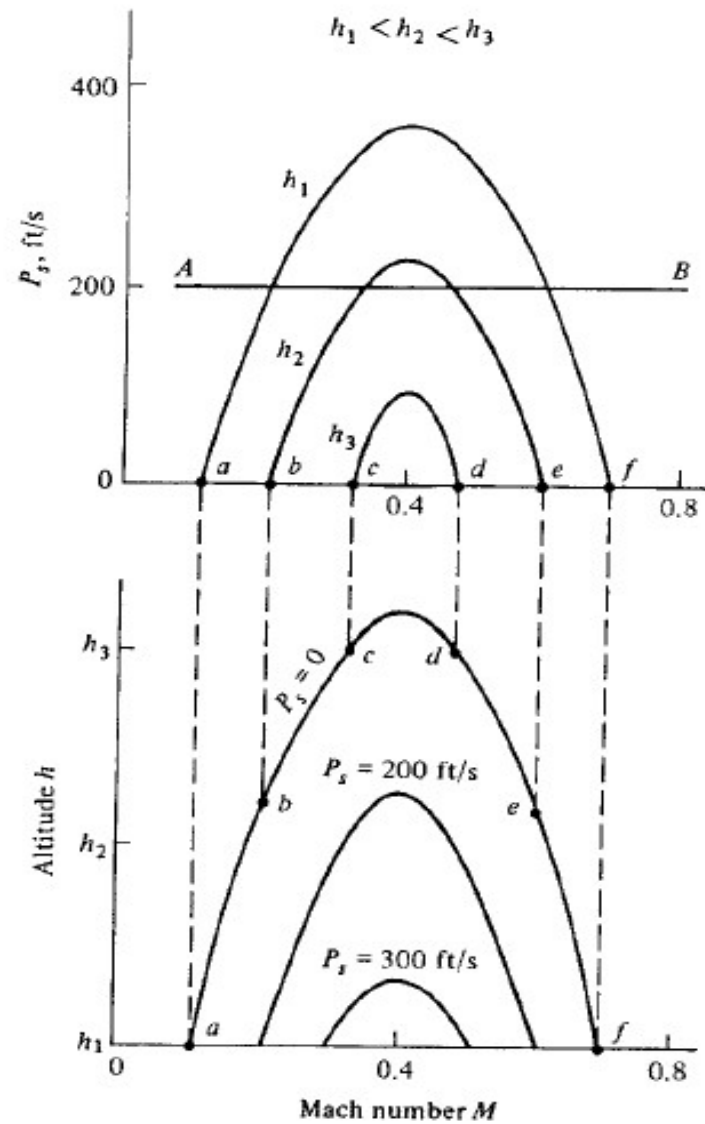
Assim, para uma determinada altitude (h), P_s pode ser plotado em função da velocidade (ou Mach) de vôo, tendo a altitude (h) como parâmetro

Este mesmo gráfico pode ser reapresentado como Altitude (h) x V (ou M) tendo como parâmetro P_s

OBS.: Nos gráficos a seguir:

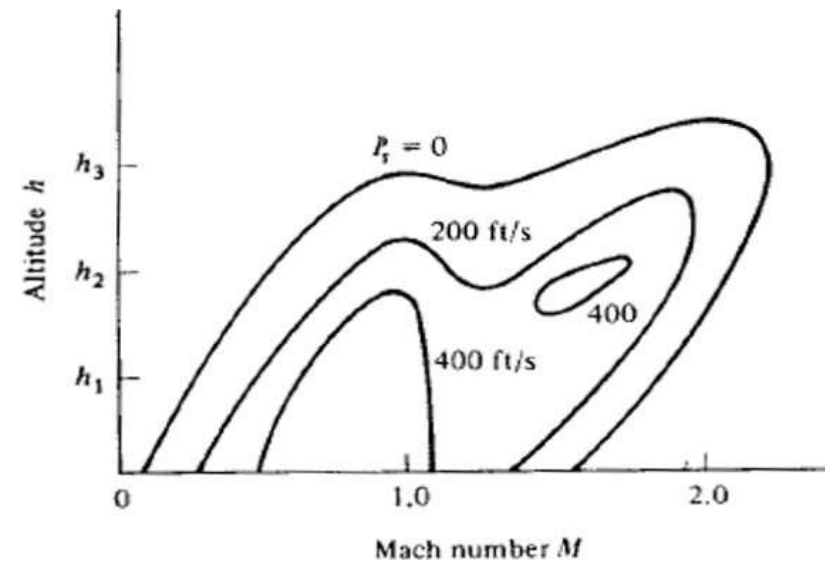
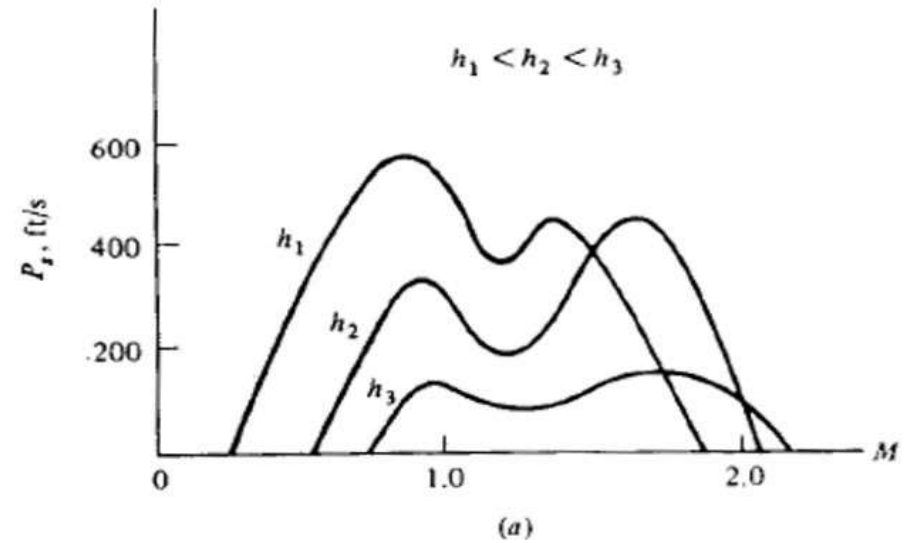
- ✓ gráfico a esquerda – an_v subsônica
- ✓ gráfico a direita – an_v supersônica (a depressão representa o aumento do arrasto na região transônica)

MÉTODO DA ENERGIA



(a)

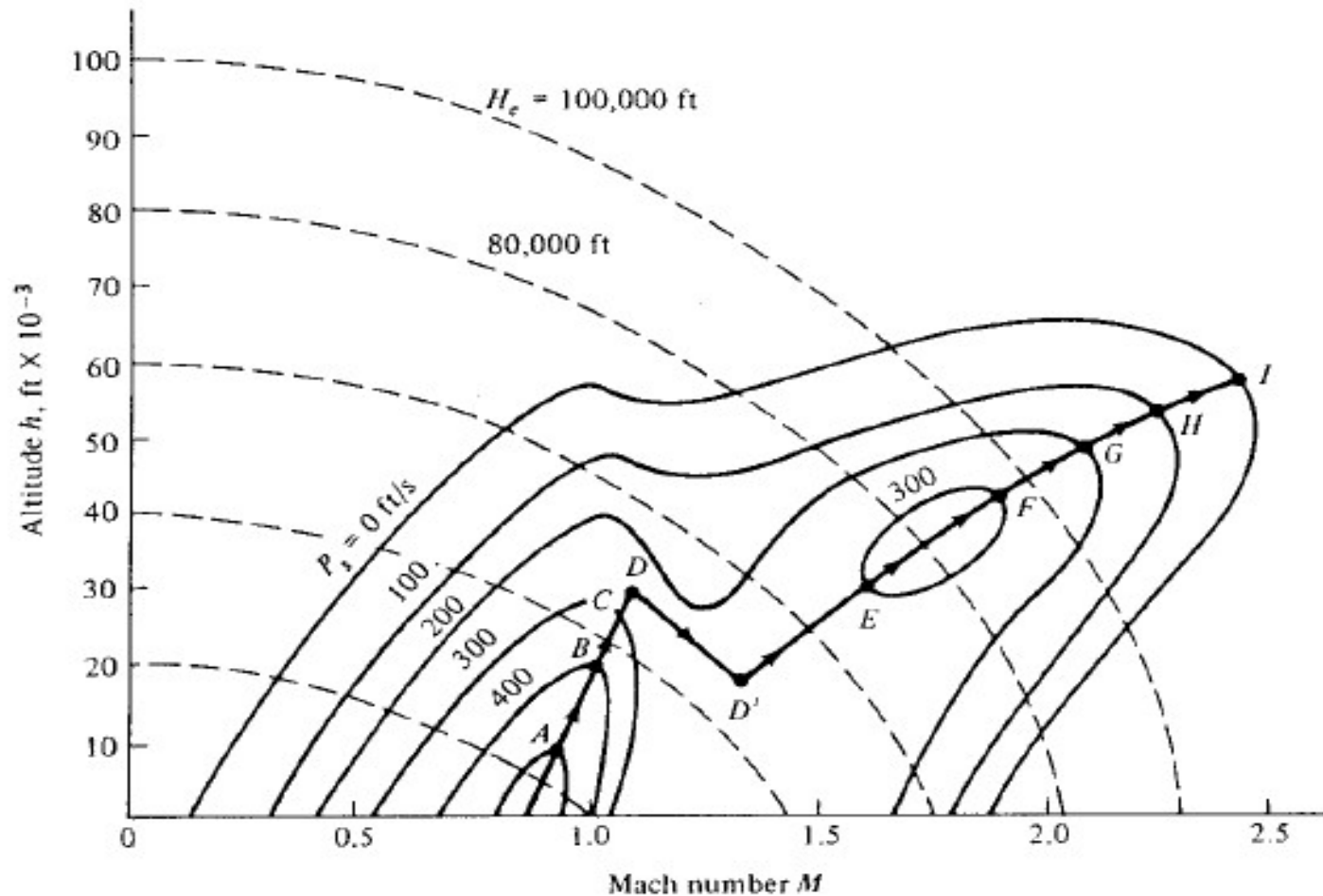
(b)



(b)

MÉTODO DA ENERGIA

Sobrepondo-se os contornos P_s ($h \times M$) e o mapa Altitude-Mach, obtém-se



MÉTODO DA ENERGIA

Na figura anterior

- os contornos P_S sempre correspondem a uma aeronave num determinado peso (W) e fator de carga (n)
- as linhas H_E são universais e não possuem relação com qualquer anv

A grande utilidade desse gráfico é apresentar claramente qual o estado de energia que uma anv pode alcançar

O regime de vôo sustentado de uma anv encontra-se dentro do envelope formado pelo contorno $P_S = 0$

Logo todos os valores de H_E que estão dentro do envelope de vôo são capazes de serem alcançados pela anv

MÉTODO DA ENERGIA

Comparando-se os gráficos de duas anv diferentes obtém-se facilmente as regiões de altitude (h) e número de Mach (M) onde uma anv tem vantagens sobre a outra (maior H_E)

O gráfico tb é muito útil para obter-se qual a combinação de h e M mais adequada para alcançar uma determinada H_E no menor tempo possível

MÉTODO DA ENERGIA

Considerando dois níveis de energia (H_{E1} e H_{E2}) onde

$$H_{E2} > H_{E1}$$

O tempo (Δt) para deslocar-se entre esses dois níveis de energia é

$$dt = \frac{dH_e}{P_s}$$

Integrando entre os níveis, obtém-se:

$$t_2 - t_1 = \int_{H_{e,1}}^{H_{e,2}} \frac{dH_e}{P_s}$$

Nota-se que o tempo para subir entre H_{E1} e H_{E2} é mínimo se P_s for máximo

MÉTODO DA ENERGIA

Para cada curva H_E há um ponto onde P_S é máximo

Nessa condição, a curva P_S é tangente a curva H_E

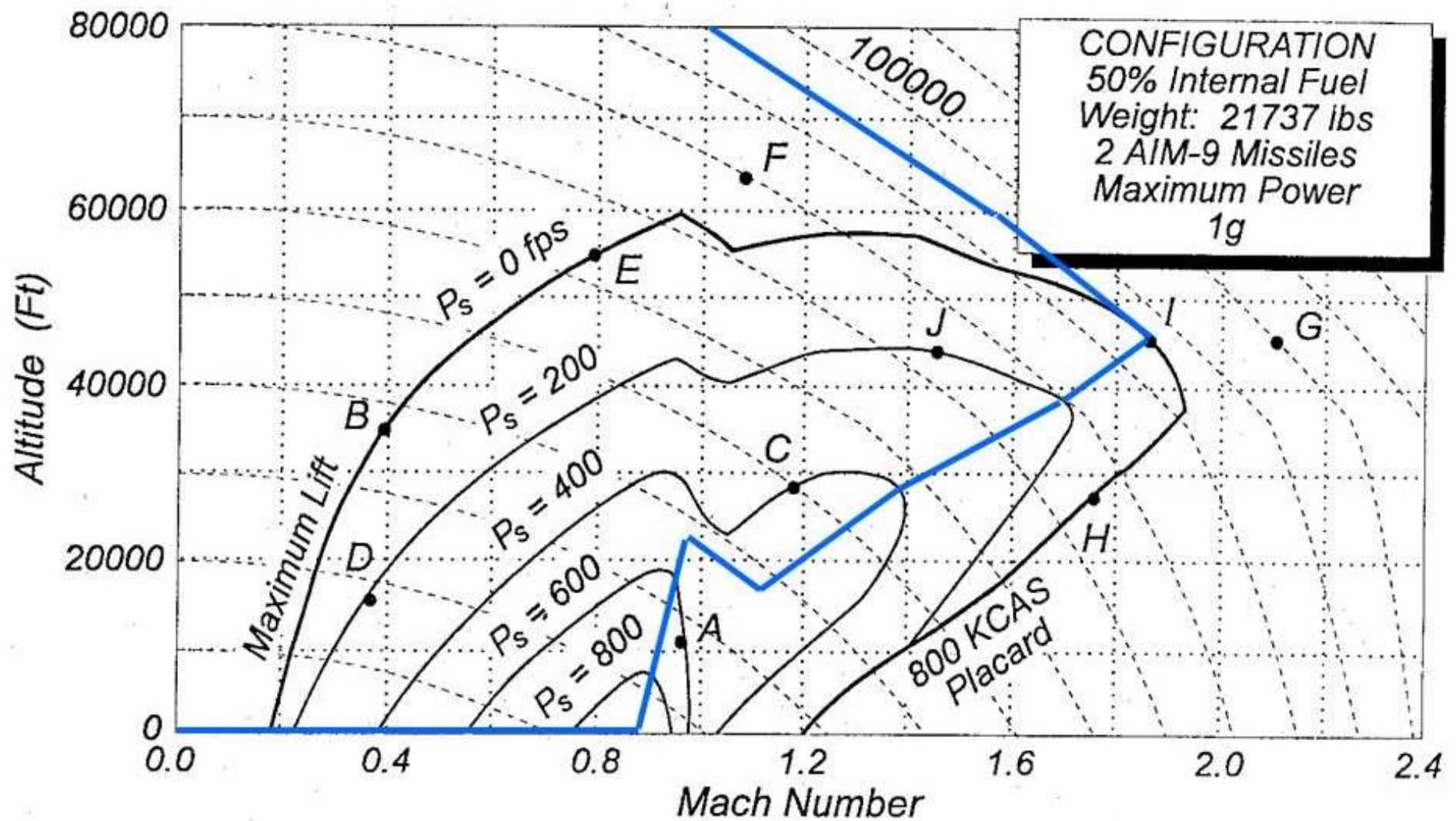
Estes pontos são apresentados no gráfico do slide 11 e nomeados de A até I

A união dos pontos representa a combinação entre h e M ao longo da direção de voo (DV) para o tempo de subida mínimo entre H_{E1} e H_{E2}

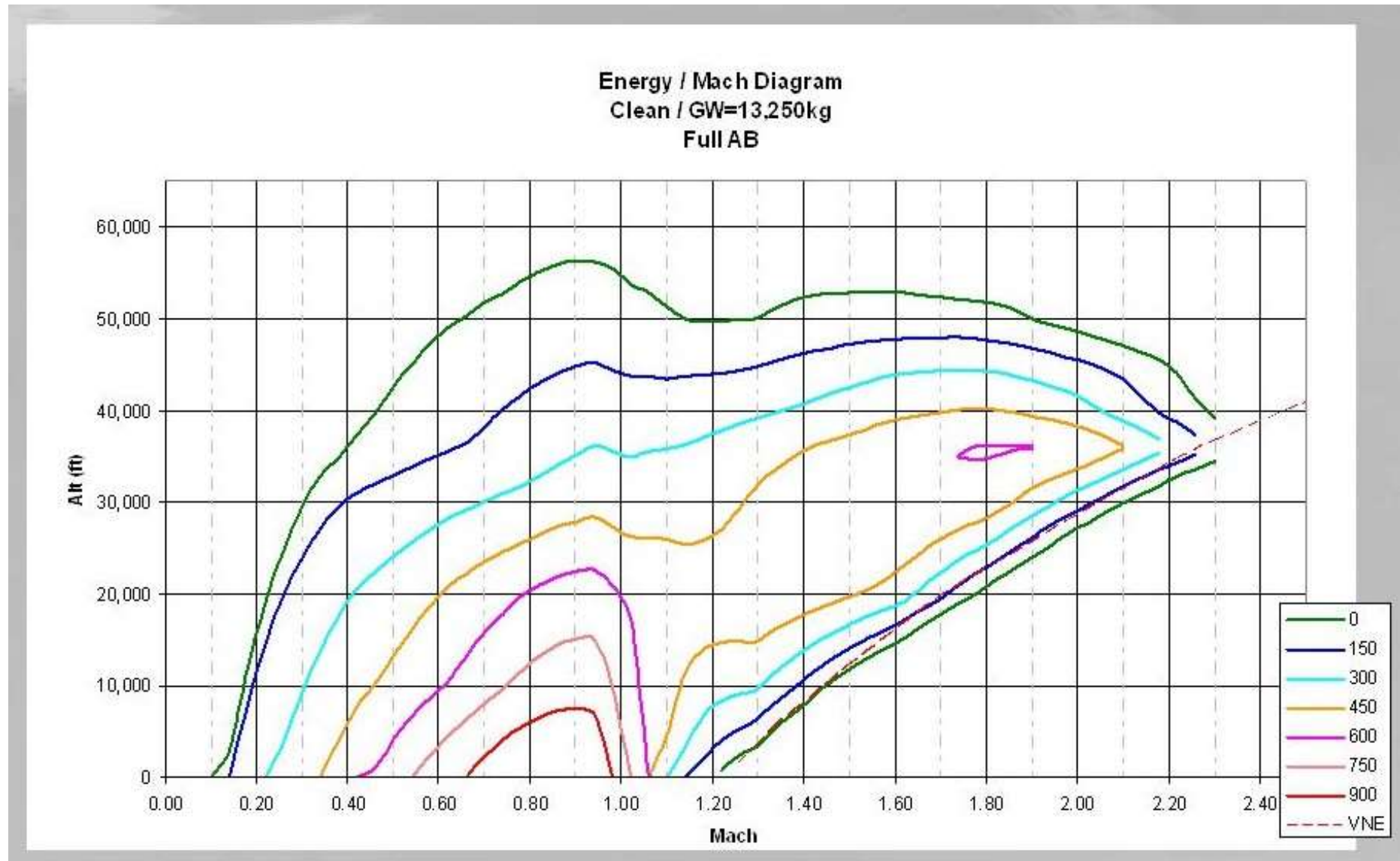
O segmento representado entre o pontos D e D' representa um mergulho mantendo H_E cte para acelerar a a_{nv} através da região transônica (região onde o arrasto é divergente)

A importância deste gráfico é tal que os pilotos de caça voam com ele em mãos (*outros exemplos a seguir*)

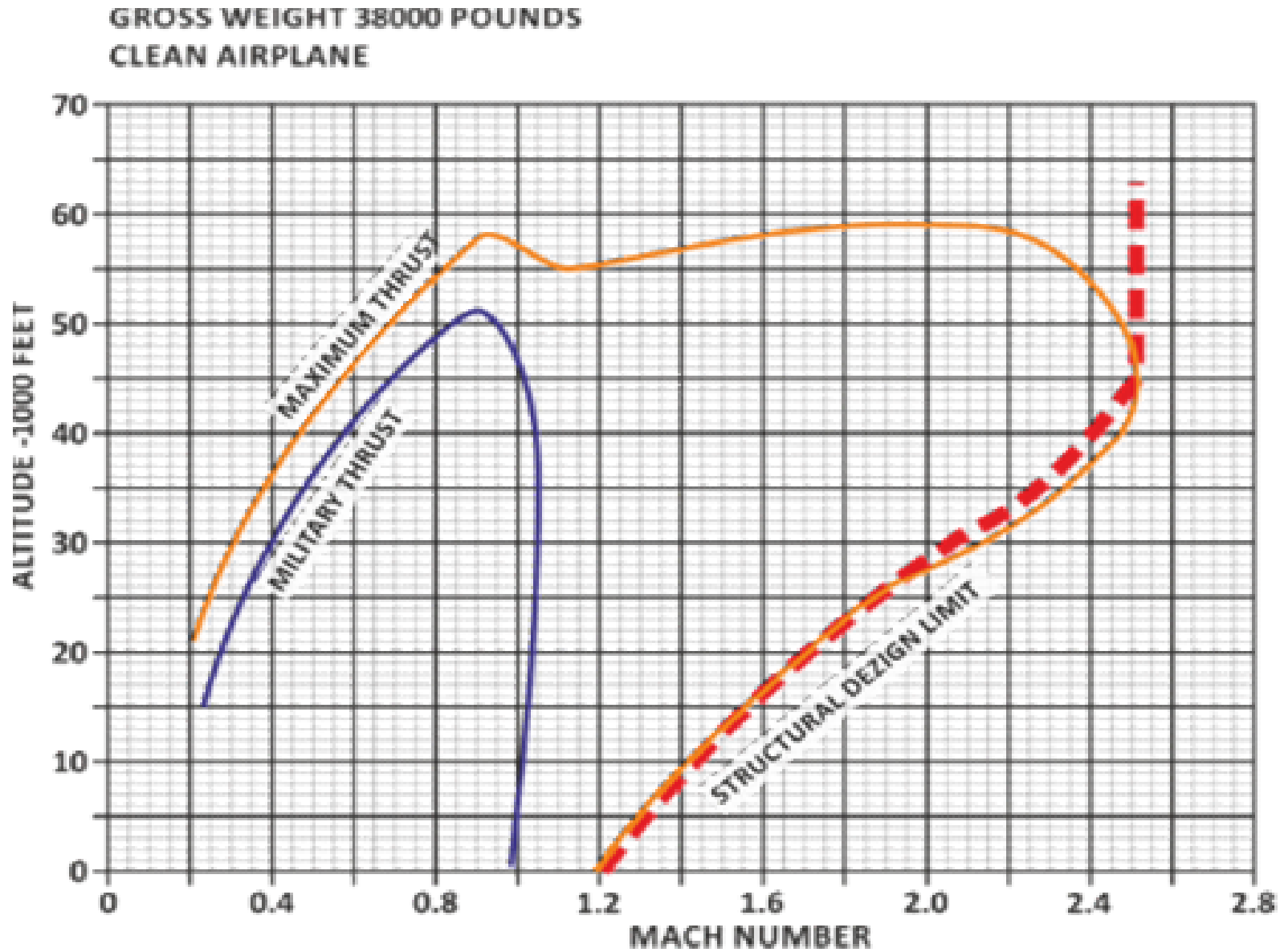
MÉTODO DA ENERGIA



MÉTODO DA ENERGIA



MÉTODO DA ENERGIA



MÉTODO DA ENERGIA

COMENTÁRIOS FINAIS

O objetivo deste curso foi apresentar a teoria básica que rege a ciência conhecida como desempenho de aeronaves

Na indústria aeronáutica moderna empregam-se programas computacionais para a determinação do desempenho de uma anv em várias etapas de seu desenvolvimento e até durante a sua operação

Tais programas são desenvolvidos especificamente para cada tipo de anv (aviação geral, jato comercial, caça supersônico, etc.)

Independente do programa ou da indústria que o desenvolveu, todos são baseados na teoria apresentada neste curso

DÚVIDAS??



OBRIGADO!



Introdução ao Desempenho de Aeronaves - Prof. Dr. Rogério F. F. Coimbra