



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

COMPRIMENTO DE PISTA PARTE 1

MANOEL HENRIQUE ALBA SÓRIA

SÃO CARLOS
2021

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE VIAS DE TRANSPORTE E TOPOGRAFIA - STT

COMPRIMENTO DE PISTA - PARTE 1



PROF. MANOEL HENRIQUE ALBA SÓRIA

COMPRIMENTO DE PISTA - PARTE 1

1. COMPRIMENTO DE PISTA PARA DECOLAGEM.

1.1. Decolagem: definição.

O comprimento de pista para decolagem deve ser tal que uma vez iniciada, a aeronave possa, se preciso, abortar a decolagem e parar com segurança ou completar a decolagem e iniciar a subida, também com segurança. Visando o estabelecimento de padrões de operação e de análise do comprimento de pista, foram normalizados os procedimentos de decolagem, as velocidades e distâncias.

Tomando-se por base as Figuras 1 e 2, o procedimento de decolagem pode ser descrito como se segue:

a) Estando o avião parado na cabeceira da pista, ponto A, o piloto imprime toda a potência aos motores e o avião inicia a corrida de decolagem;

b) Se uma falha de um motor com perda súbita e total de potência for identificada pelo piloto exatamente ao atingir a velocidade de decisão, V_1 , deve ele escolher uma dentre as duas alternativas: interromper ou continuar a decolagem;

b₁) Se o piloto decidir freiar, o avião correrá na pista até parar no ponto Y. A distância \overline{AY} é chamada "distância de aceleração e parada";

b₂) Se decidir continuar a decolagem com um motor inoperante, o avião acelerará até atingir a velocidade de rotação, V_r , (ponto C) com a qual é possível erguer o nariz da aeronave aumentando o ângulo de ataque e ao alcançar a velocidade de decolagem, V_{1of} , (em inglês "lift-off") e iniciar o voo, ponto D, vindo a passar sobre o ponto Z com uma altura de 10,7 m e velocidade igual ou maior que V_2 . A distância \overline{AZ} é chamada "distância de decolagem";

c) Se a falha de um motor ocorrer antes da velocidade V_1 o piloto interromperá a decolagem aplicando os dispositivos de frenagem vindo a parar antes do ponto Y. A decolagem deve ser abortada porque a velocidade é insuficiente e não há condições de aceleração com a potência reduzida;

d) Se a falha ocorrer depois de atingida a velocidade V_1 , a decolagem deverá prosseguir e o avião sobrevoará o ponto Z com uma altura maior que 10,7m.

A decolagem deve continuar uma vez que o avião adquiriu velocidade suficiente e que seria difícil ou até impossível parar na distância disponível.

e) Se, como se dá normalmente, não ocorrer falha de motor, o avião correrá até atingir V_R , V_{LOF} e V_2 , decolando. Figura 2. Neste caso as distâncias para alcançar V_R , V_{LOF} e V_2 , são menores do que no caso de falha de um motor.

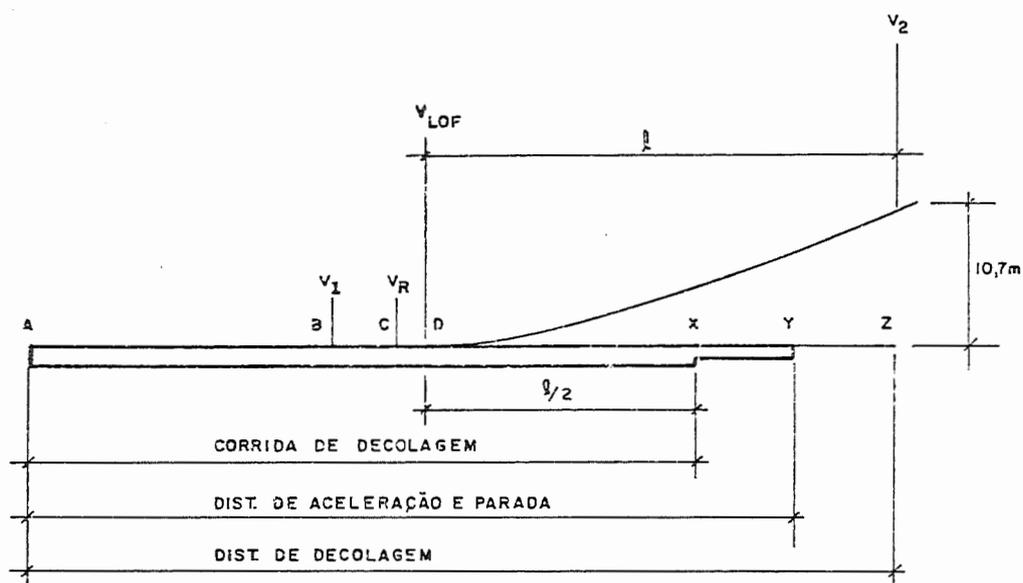


FIGURA 1 - DECOLAGEM COM FALHA DE 1 MOTOR EM V_1

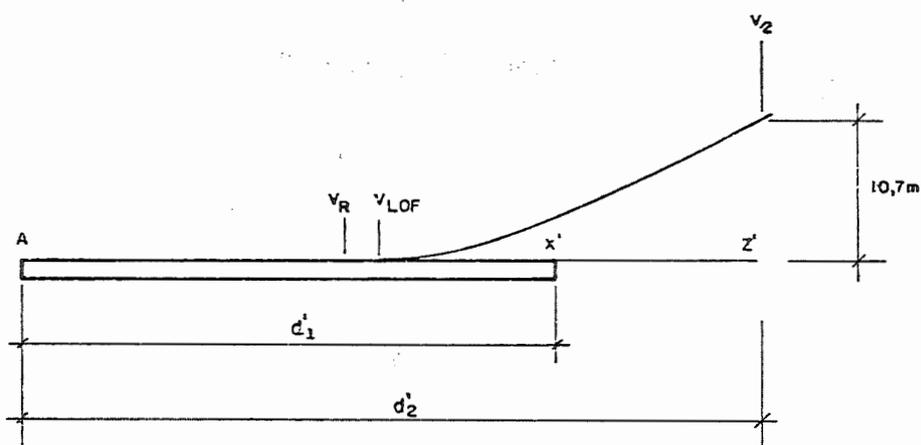


FIGURA 2 - DECOLAGEM COM TODOS OS MOTORES (SEM FALHA)

As velocidades V_1 , V_r , V_{1of} e V_2 são definidas como se segue:

- Velocidade de decisão, V_1 , é a velocidade escolhida e pelo operador à qual admite-se que, ao ser reconhecida pelo piloto uma perda súbita e total de potência de uma unidade motopropulsora, é possível freiar o avião ou continuar a decolagem sem o motor crítico.

A definição completa de V_1 , inclui as afirmações contidas nos itens b, c e d da descrição do procedimento de decolagem, página anterior. Como regra geral a velocidade de decisão é escolhida de modo que seja menor ou no máximo igual à V_2 , velocidade de início de subida. Deve, no entanto, ser maior que a velocidade mínima de controle no solo V_{mgc} como o motor crítico inoperante. Esta velocidade é característica do avião e é dada pelos manuais.

- Velocidade de Rotação, V_r , é a velocidade à qual o piloto inicia a rotação da aeronave (em torno do eixo transversal), isto é, levanta o nariz ou "roda", tirando do chão as rodas do nariz.
- Vel. p/deixar o solo ou de decolagem, V_{1of} , é a velocidade à qual se tira o avião da pista, isto é, inicia o voo propriamente dito sustentando-se no ar. Em inglês, "Lift-off" Speed.
- Velocidade de início de subida, V_2 , é a velocidade mínima com a qual o piloto pode dar início à subida depois de ter passado a 10,7 m de altura sobre a superfície da pista durante uma decolagem com um motor inoperante. A velocidade V_2 deve ser mantida até que o avião chegue a uma altura de 122m (400 pés).

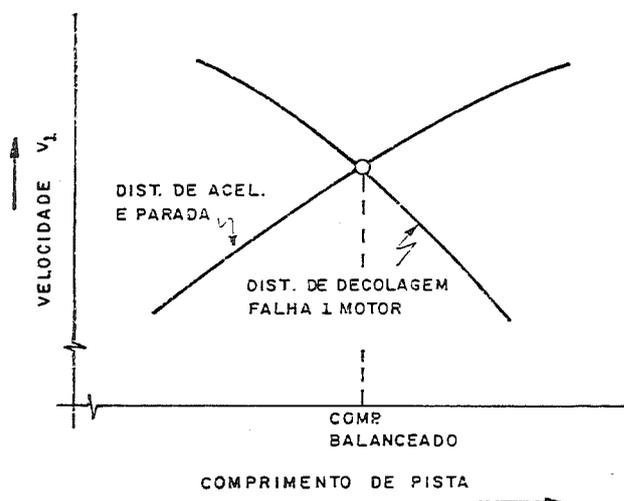
Todas as velocidades são dadas em termos de velocidade aerodinâmica calibrada, isto é, dadas pela leitura do indicador. Não são velocidades aerodinâmicas verdadeiras. Para uma determinada aeronave e condições de tempo e pressão, V_r , V_2 e V_{1of} , são funções de peso bruto da aeronave e posição do flap, enquanto que V_1 pode ser escolhido dentro de certos limites que dependem também da pressão, temperatura e peso bruto. Como ordem de grandeza pode-se dizer que $0,7 V_r < V_1 < V_r$. Num diagrama típico de velocidades na decolagem, entra-se com pressão, temperatura e peso bruto de decolagem e tira-se V_r , V_2 e V_1/V_r (para comprimento balanceado de pista, como veremos adiante).



1.2. Comprimento de Pista Balanceado.

Vimos até aqui que o piloto pode escolher, entre certos limites, a velocidade de decisão V_1 . Essa escolha tem por objetivo fazer a distância de aceleração e para ser igual à distância de decolagem, com falha de um motor, ou seja, fazer Y e Z coincidente, obtendo-se assim o comprimento de pista balanceado com falha de um motor. Isso pode ser feito porque quanto maior V_1 , maior será a distância de aceleração e parada e menor a distância de decolagem como ilustra a figura 3. Exceto quando houver afirmação em contrário, o valor de V_1 ou V_1/V_r que o manual fornece é o que dá o comprimento de pista balanceado. Para outros valores de V_1 teremos comprimentos de pista não balanceados, que serão discutidos mais adiante.

FIGURA 3 - DISTÂNCIA DE ACELERAÇÃO E PARADA E DISTÂNCIA DE DECOLAGEM EM FUNÇÃO DE V_1 .



Decolagem sem falha.

Para o caso de decolagem com todos os motores funcionando, sem falha (figura 2), a corrida de decolagem é definida como 115% da distância para atingir V_{10f} . A distância de decolagem, ou seja, para atingir 10,7 m de altura, também será multiplicada por 1,15 para confronto com as distâncias do desempenho com falha de um motor.

Comprimento de pista para a decolagem (conclusão).

O comprimento de pista para a decolagem, determinado pelo desempenho da aeronave é maior dentre:

- a) o comprimento balanceado de pista, isto é, o comprimento necessário quando a distância de decolagem com falha for igual à distância de aceleração e parada; ou

b) 115 por cento da distância de decolagem com todos os motores.

A corrida de decolagem, analogamente, é a maior dentre:

a) distância para atingir V_{10f} , com falha em V_1 ; ou

b) 115 por cento da distância para atingir V_{10f} sem falha.

A figura 4 ilustra a variação da velocidade e distância para uma decolagem com falha em V_1 e sem falha.

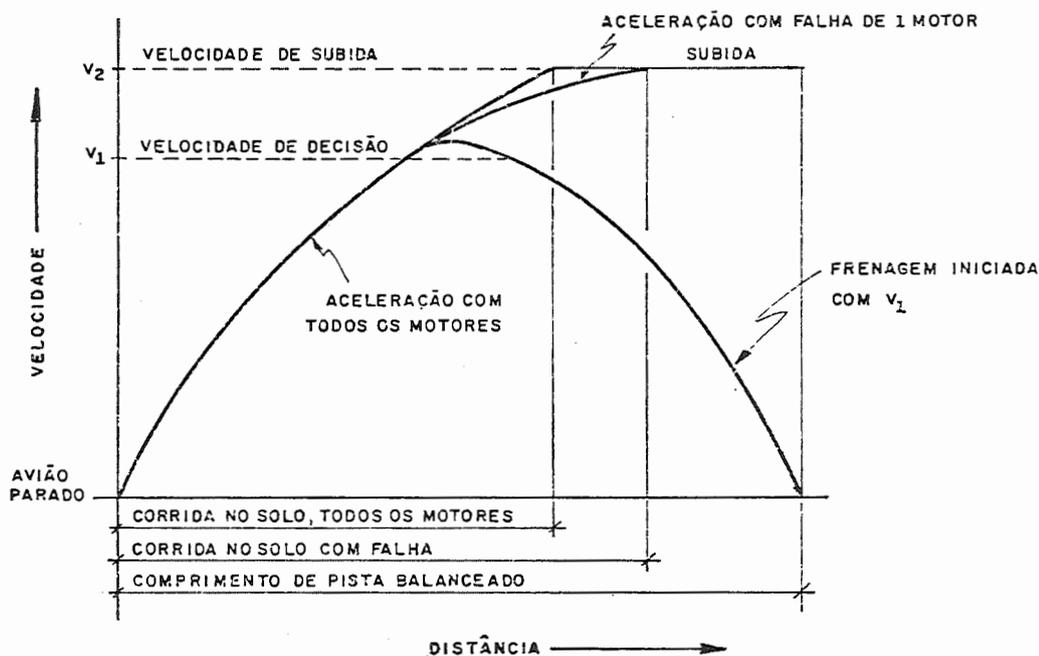


FIGURA 4 - DISTÂNCIAS E VELOCIDADES NA DECOLAGEM

2. COMPRIMENTO DE PISTA PARA O POUSO.

A operação de pouso tem uma definição mais simples: o avião sobrevoa a cabeceira da pista passando à altura de 15 m, com uma velocidade constante igual a $1,3 V_s$, onde V_s é a velocidade de estol para as condições de pouso. O comprimento de pista para o pouso deve ser tal que, a aeronave passando sobre a cabeceira de pouso com altura de 15 m e velocidade $1,3 V_s$, pouse, vindo a parar em 60% do comprimento de pista disponível para o pouso. Figura 5.



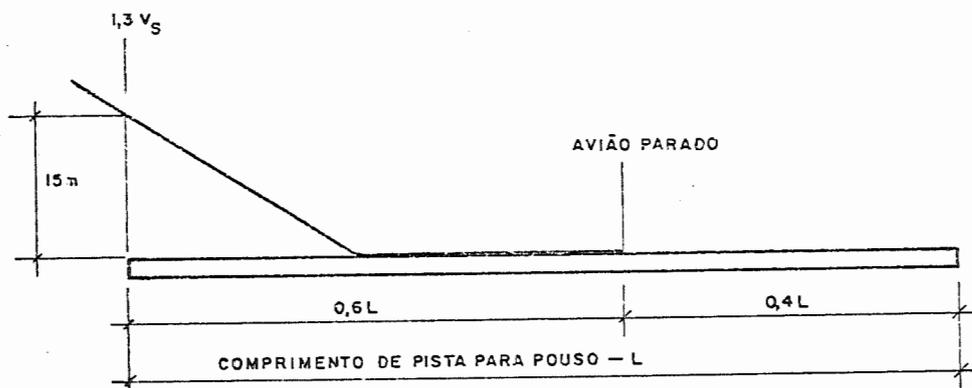


FIGURA 5 - COMPRIMENTO DE PISTA PARA O POUSO

O comprimento de pista para o pouso dado pelos manuais das aeronaves é computado segundo essa definição, para pista seca; depende do peso bruto no pouso, da pressão e temperatura do ar na pista, da posição dos flaps e funcionamento de certos dispositivos de frenagem e do estado da superfície, se seca ou molhada.

Para as aeronaves comerciais hoje em operação e em condições normais de pouso, o comprimento de pista para o pouso não é crítico, isto é, é menor que o de decolagem. Convém ressaltar que o peso bruto máximo para o pouso é o peso máximo estrutural de pouso.

3. PROCEDIMENTO DE SUBIDA.

Tendo a aeronave decolado, deve cumprir determinados requisitos de subida. A Figura 6 mostra, simplificadamente, as condições mínimas exigidas para a subida com um motor inoperante.

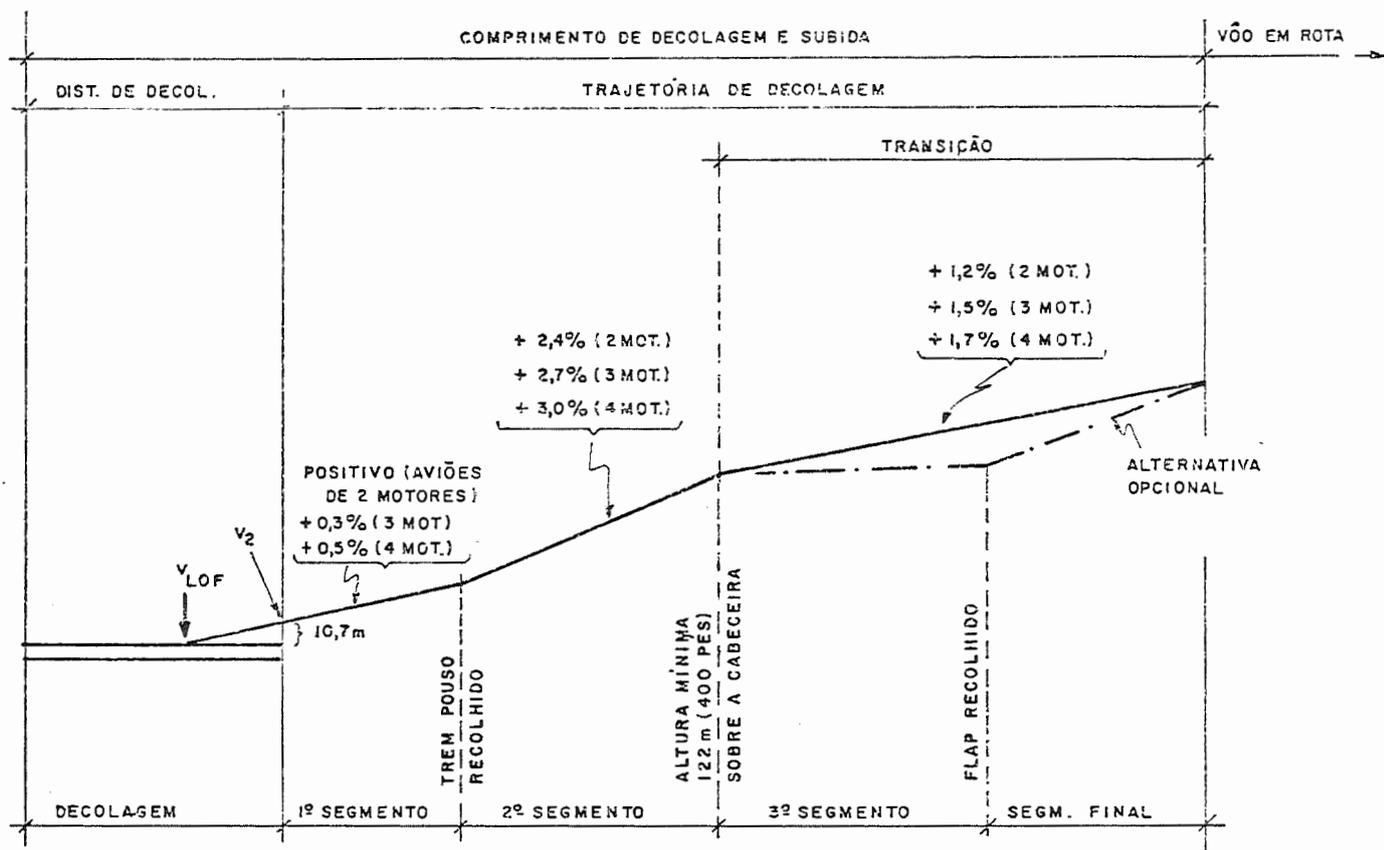


FIGURA 6 - GRADIENTES MÍNIMOS DE SUBIDA PARA AERONAVES A TURBINA, ADMITINDO-SE QUE NÃO HAJA OBSTÁCULOS NA TRAJETÓRIA DE VÃO.

Exemplo: Os bimotores ou bireatores , quando em procedimento de subida monomotor devem ter uma razão de subida de no mínimo + 2,4% no 2º segmento.