

Embandeiramento de hélice na falha de perda de potência de um motor para o vôo monomotor, em aeronaves bimotoras a pistão leves, em 12.09.24

O NTSB publicou, em agosto, o Alerta de Segurança (*Safety Alert*) SA-091, intitulado “*Know when to feather your propeller if one engine loses power - Don't get locked out*” - ou, “Saiba quando embandeirar sua hélice se um motor perder potência - Não fique bloqueado”.

NTSB *Safety Alert* SA-091 - agosto 2024:

<https://www.nts.gov/Advocacy/safety-alerts/Documents/SA-091.pdf>

O alerta configura um problema para operação de emergência por falha de um motor, e no vôo monomotor, em aeronaves bimotoras, com uma relação de 7 questões:

1. atuais treinamento de pilotos e listas de verificação para aviões multimotores a pistão abordam, primariamente, falha (perda) total de motor e não preparam os pilotos para situações de perda parcial de potência do motor.
2. esta lacuna no treinamento e na conscientização pode resultar em problemas críticos de controle durante o vôo, especialmente durante cenários de operação monomotor.
3. a perda parcial de potência do motor em aeronaves multimotoras é muitas vezes gerenciada de maneira inadequada, levando ao aumento do risco de perda de controle.
4. hélices de velocidade constante e embandeiramento manual em aeronaves multimotoras são equipadas com mecanismos chamados *start lock* (trava/bloqueio de partida/fechamento), que evitam que as pás da hélice entrem na posição (passo) de embandeiramento durante um desligamento normal do motor no solo, facilitando assim a partida do motor com as pás da hélice com ângulo de lâmina (passo) reduzido. As travas centrífugas dessas *start locks* (travas/bloqueios de partida) são desengajadas quando a hélice está girando acima de uma determinada rotação. Entretanto, as *start locks* (travas de partida) podem ser ativadas (evitando embandeiramento) em vôo se a rotação da hélice cair abaixo desse limite crítico.
5. embora o embandeiramento de hélice de um motor que perdeu potência seja uma prática recomendada, quando a rotação da hélice diminuir abaixo da rotação na qual as *start locks* (travas de partida) são acionadas, o piloto não conseguirá embandeirar a hélice. O embandeiramento não será possível até que a rotação da hélice aumente acima desta rotação-crítica (a rotação específica de engate da *start lock* (trava de partida) varia entre as marcas/modelos da hélice); um mau funcionamento mecânico do motor pode impedir o piloto de aumentar a rotação da hélice. É imperativo, portanto, embandeirar a hélice antes que a rotação (RPM) da hélice do motor com falha de potência diminua abaixo rotação-crítica de engate da *start lock* (trava de partida).
6. o embandeiramento tardio de hélice em cenários de perda parcial de potência do motor pode resultar perigosamente em arrasto, comprometendo o controle da aeronave e a segurança da operação.
7. Aviões bimotores certificados pelo regulamento (de aeronavegabilidade) PART-23 (da FAA) não são obrigados a fornecer uma razão de subida positiva na condição de um motor inoperante. Como a velocidade mínima de controle (*minimum control speed*) para um avião com um motor inoperante é determinada com hélice em movimento (giro), o embandeiramento oportuno aumenta a margem de controlabilidade da aeronave além do desempenho certificado.

O alerta lista 6 recomendações de práticas:

1. revisar e compreender os procedimentos da fabricante para falha do motor, incluindo casos de perda parcial de potência do motor. Garantir familiaridade com critérios e etapas específicos para embandeirar a hélice da aeronave.
2. revisar o manual de proprietário/operação da hélice para determinar a rotação (RPM) mínima abaixo da qual não é possível o embandeiramento da hélice.
3. praticar regularmente como lidar com cenários de perda parcial de potência do motor em treinamento de vôo ou sessões de treinamento em simulador, concentrando-se em respostas oportunas e corretas, incluindo embandeirar a hélice antes que a sua velocidade (rotação - RPM) caia muito para o embandeiramento das pás da hélice.
4. ao realizar verificações pré-vôo (*preflight check*), certificar que todos os controles do motor, incluindo aqueles de embandeiramento, estejam funcionando.
5. participar de discussões e sessões de treinamento com outros pilotos e instrutores de vôo sobre a tomada de decisões, com foco no desenvolvimento de planos para responder a cenários que

envolvam perda parcial de potência do motor em diversas fases do voo (decolagem, cruzeiro e aproximação), para melhorar as habilidades de julgamento em situações críticas.

6. manter-se informado sobre as últimas descobertas e recomendações relacionadas ao gerenciamento de potência do motor e controle de hélice em aeronaves bimotores, incorporando orientações e indicações de fontes aeronáuticas como Avisos da FAA e artigos sobre segurança da aviação.

O alerta cita 5 casos de acidentes, com fatalidades, com aviões bimotores leves, registrados na categoria do transporte privado (PART-91), ocorridos no EUA, que envolvem falha de um motor (quatro eventos de perda de potência parcial de um motor e um evento de falha total) e o não-embandeiramento de hélice, sendo:

- em 17/08/2011 (08:05LT), em Tupelo, no Mississippi, com Cessna 310Q, durante decolagem,
- em 30/06/2012 (16:20LT), em Dalton, na Georgia, com Piper Piper PA-31P *Navajo*, durante decolagem,
- em 05/05/2016 (13:31LT), em Little Rock Norte, no Arkansas, com Cessna 310F, em decolagem/subida inicial,
- em 01/12/2018 (13:27LT), em Fort Lauderdale, na Flórida, com Cessna C335, em decolagem, e,
- em 19/11/2022 (11:10LT), em Winston-Salem, na Carolina do Norte, com Piper PA-30 *Twin Comanche*, durante aproximação.

O alerta indica 3 fontes de informação:

- Boletim de Informação de Aeronavegabilidade Especial, da FAA, CE-05-51, de 29/04/2025, abordando os efeitos de arrasto de uma hélice em giro quando um motor está inoperante e alertando ainda sobre o risco das *start locks* (travas de partida) atuarem durante tentativas de reacionamento de motor, o que impede o embandeiramento da hélice.

<https://drs.faa.gov/browse/excelExternalWindow/C6509240B6E8AEF18625721F0052ED17.0001>

- Circular de Informação Aeronáutica da Autoridade de Aviação Civil (CAA) do Reino Unido P139/2019 com alerta sobre implicações das hélices cuja rotação não pode ser reduzida abaixo de uma determinada RPM, em publicações desde 1979 e revisada em 2019 (em 19/12/2019):

https://nats-uk.ead-it.com/cms-nats/export/sites/default/en/Publications/Aeronautical-Information-Circulars-AICs/pink-aics/EG_Circ_2019_P_139_en.pdf

- estudo especial do NTSB destacando o desempenho de margem estreita pelo requisito da certificação de aeronavegabilidade PART-23 (da FAA) para aviões leves bimotores quando um motor está inoperante:

<https://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/aviation-special-studies/AAS79-02.pdf>

A - Boletim de Informação de Aeronavegabilidade Especial (SAIB), da FAA, CE-05-51, de 29/04/2025:

O Boletim de Informação de Aeronavegabilidade Especial (SAIB - *Special Airworthiness Information Bulletin*), da FAA, CE-05-51, de 29/04/2025, com recomendações não-mandatórias, alerta operadores e pilotos de aviões multimotores a pistão sobre uma condição de incapacidade de continuar o voo nivelado com um motor inoperante (OEI - *one engine inoperative*) com uma hélice em giro - em cata-vento (*windmilling*) - não embandeirada.

Um avião multimotor a pistão com falha de motor pode resultar nas seguintes duas condições de perda de potência:

- 1.1 - o piloto não consegue embandeirar a hélice no motor inoperante, e,
- 1.2 - o avião não consegue manter o voo nivelado devido à hélice em giro - em cata-vento (*windmilling*) - não embandeirada.
- 2.1 - o piloto "corta" o motor com falha e embandeira a hélice.
- 2.2 - o piloto tenta reiniciar o motor com falha e desembandeira a hélice usando os acumuladores de desembandeiramento (*unfeathering accumulators*) ou o motor de partida (*starter*),
- 2.3 - o motor não aciona,
- 2.4 - a hélice não retornará ao embandeiramento, pois a rotação da hélice está abaixo da velocidade de desengate da *start lock* (trava de partida), e,
- 2.5 - o avião não consegue manter o voo nivelado devido à hélice em movimento desembandeirada.

Um Cessna 421 registrado na Suíça voando na França sofreu uma falha no motor devido a um eixo de manivela (virabrequim) de um motor com defeito. O piloto inicialmente continuou em direção ao seu destino pretendido, mas após várias tentativas de reinicialização malsucedidas, tentou desviar para outro aeroporto. O piloto declarou que não conseguiu reiniciar o motor e não conseguiu mais embandeirar a hélice. O avião continuou a descer até atingir o solo.

Isso pode ter acontecido porque:

- o piloto não conseguiu embandeirar a hélice devido ao atrito eixo de manivela (virabrequim) com defeito que rapidamente desacelerou a hélice abaixo da velocidade de desengate da *start lock* (trava de partida), ou,
- o piloto desembandeirou a hélice para tentativa de reacionamento. O piloto não conseguiu embandeirar a hélice novamente após as tentativas de reinicialização, devido ao atrito ao atrito eixo de manivela (virabrequim) com defeito que rapidamente desacelerou a hélice abaixo da rotação de desengate da *start lock* (trava de partida).

O desempenho da aeronave é determinado pela quantidade de potência disponível e pelo arrasto total da aeronave. A quantidade de potência disponível em excesso ao arrasto total da aeronave determina a capacidade da aeronave de subida (ascensão). A perda de um motor em um avião multimotor a pistão reduz drasticamente a quantidade de potência disponível. A relação do arrasto (*drag*) - com as parcelas de arrasto parasita e induzido (e o arrasto total) - versus potência disponível (*available power*) é mostrada em gráfico velocidade x arrasto - nas figuras 1 (para todos motores operando) e 2 (para um motor inoperante - OEI):

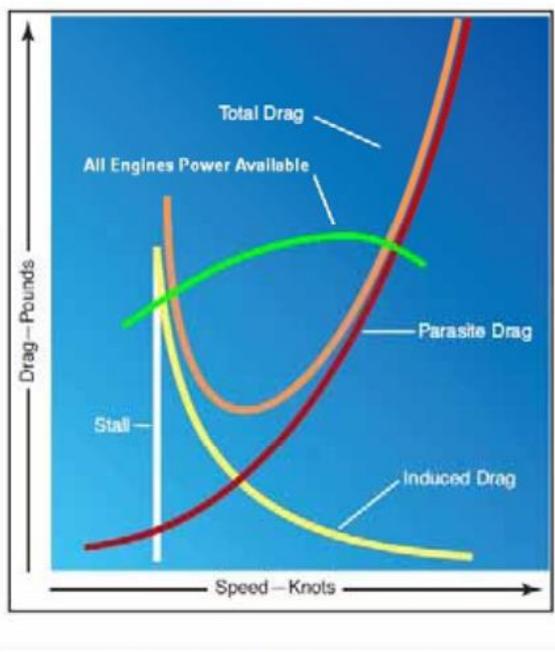


Figure 1: All Engines Operating

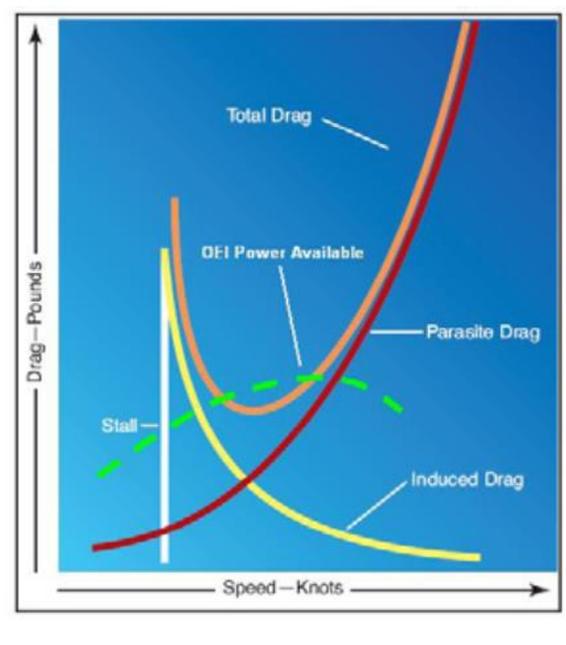


Figure 2: One Engine Inoperative

Gráficos de desempenho de subida em operação monomotor (OEI) estão contidos na seção "Performance" no POH (*Pilot's Operating Handbook* - Manual de Operação de Piloto).

O desempenho de subida em operação monomotor (OEI) é afetado pelo peso, altitude, temperatura e configuração da aeronave. A configuração usual da aeronave para desempenho máximo de subida em operação monomotor (OEI) é a seguinte:

- motor operacional está em aceleração máxima
- motor inoperante está com a hélice embandeirada
- asas estão inclinadas 5° em direção ao motor operacional
- trem de pouso recolhido
- flapes recolhidos

Existem áreas do envelope de desempenho da aeronave onde o desempenho de subida do avião é negativo.

Uma pesquisa por Manual de Operação de Piloto (POH) para vários aviões multimotores a pistão revela que o seguinte aviso, ou observação de alerta semelhante, está contido na seção "Procedimentos de Emergência":

WARNING

Level flight may not be possible for certain combinations of weight, temperature and altitude.

AVISO

O vôo nivelado pode não ser possível para certas combinações de peso, temperatura e altitude

A incapacidade de manter o vôo nivelado é exacerbada por uma hélice em giro - em cata-vento (*windmilling*) - não embandeirada. Uma hélice em giro - em cata-vento (*windmilling*) é uma grande produtora de arrasto parasita. O efeito de uma hélice em giro - em cata-vento (*windmilling*) no arrasto parasita e no arrasto total da aeronave pode ser verificado pelas figuras 3 e 4.

A figura 3 é um gráfico que relaciona a alteração do arrasto parasita equivalente para as condições de hélice em giro (*windmilling propeller*) e hélice parada-sem rotação (*stationary propeller*) conforme o ângulo (passo) da pá hélice (entre o ângulo/passo máximo, correspondente à pá embandeirada, e ângulo/passo zero, para máxima rotação). Verifica-se que a alteração é maior com a redução do ângulo (passo) da pá hélice.

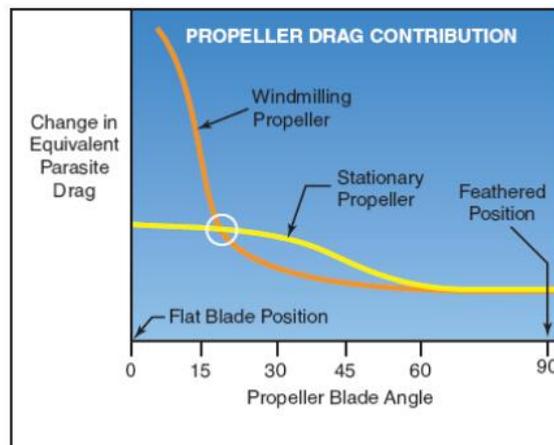


Figure 3: Windmilling Propeller Parasitic Drag

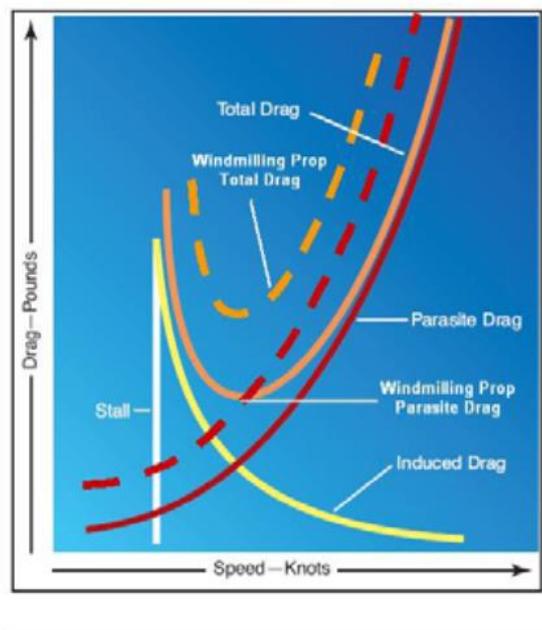


Figure 4: Windmilling Propeller Total Drag

A figura 4 mostra as curvas de arrasto (arrasto versus velocidade), com as curvas de arrasto parasita e total com hélice em giro (*windmilling propeller*) e hélice parada-sem rotação (*stationary propeller*). No caso de um avião multimotor a pistão, o efeito de uma hélice em giro (*windmilling propeller*) aumenta o arrasto parasita e total do avião (conforme figura 6) e induz um arrasto assimétrico em torno do eixo de guinada (cf. figura 5), na operação monomotor (OEI).

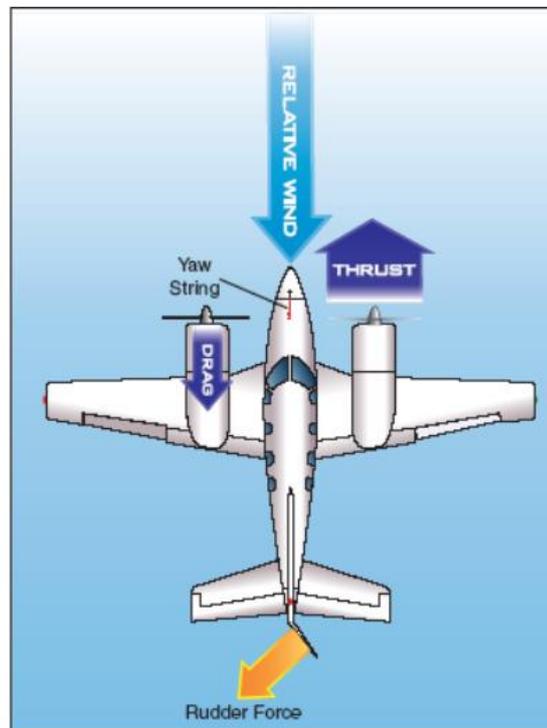


Figure 5: OEI with a Windmilling Propeller Asymmetric Drag

O resultado líquido de uma hélice em giro (*windmilling propeller*) não embandeirada é que o arrasto total da aeronave excede a potência disponível, portanto, a aeronave não é mais capaz de sustentar vôo nivelado.

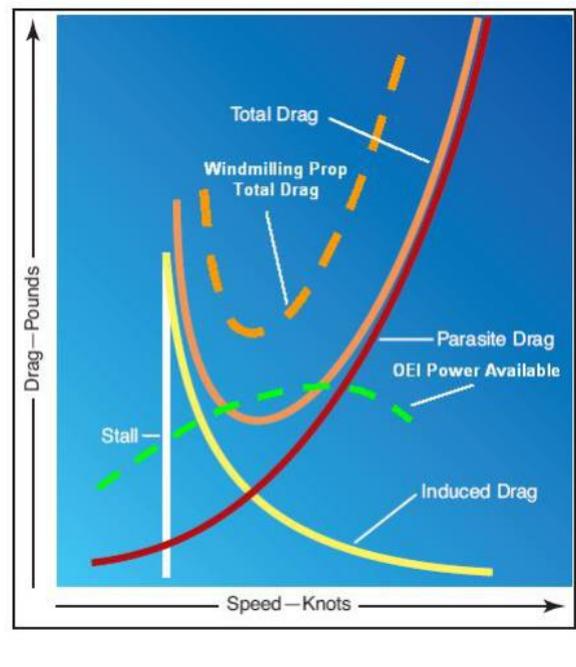


Figure 6: OEI with a Windmilling Drag and Power Effects

Nossa preocupação é com as decisões do piloto sobre a operação OEI.

A incapacidade de embandeirar uma hélice no motor inoperante pode ser resultado de manutenção inadequada, falha do controle da hélice, falha interna dos componentes da hélice ou a rotação (velocidade) da hélice em giro (*windmilling*) estar abaixo da velocidade de desengate da *start lock* (trava de partida).

Uma pesquisa dos Manuais de Operação do Piloto de vários aviões mostrou que há orientação para pousar o mais rápido possível após uma falha do motor; no entanto, não há orientação definitiva sobre quando o piloto deve realizar uma reinicialização do motor em falha. Um Manual de Operação do Piloto na pesquisa abordou o problema com a seguinte declaração:

CAUTION

The pilot should determine the reason for engine failure before attempting an air start.

CUIDADO

O piloto deve determinar o motivo da falha do motor antes de tentar um acionamento em voo.

Recomendações

As seguintes recomendações são endereçadas para uma operação de motor inoperante (OEI):

1. pousar o mais rápido possível após uma falha do motor, e,
2. uma vez que um motor esteja cortado e sua hélice embandeirada, evitar desembandeirar a hélice (do motor cortado) a menos que se tenha identificado a razão da falha do motor e que se tenha certeza de que o problema foi resolvido e que esteja-se razoavelmente confiante de que o motor pode ser reiniciado

B - Circular de Informação Aeronáutica da Autoridade de Aviação Civil (CAA) do Reino Unido P139/2019, de 19/12/2019:

A Circular de Informação Aeronáutica da Autoridade de Aviação Civil (CAA) do Reino P139/2019 com alerta sobre implicações das hélices cuja rotação não pode ser reduzida abaixo de uma determinada RPM, com a revisão em 19/12/2019, intitulada “*Propeller feathering on twin piston engine aeroplanes*” (Embandeiramento de hélice em aviões bimotor a pistão), apresenta as seguintes questões:

- 1 - a maioria das hélices (de velocidade constante acionada hidráulicamente) embandeiráveis, como alguns tipos Hartzell e McCauley, instaladas em aviões bimotor a pistão leves são projetadas de tal forma que não é possível embandeirar as pás abaixo de uma certa rotação baixa (normalmente 700 a 1000 RPM).
- 2 - isso ocorre porque nessas baixas RPM, as travas centrífugas (*centrifugal latches*) operam para manter as pás em passo adequado para garantir, quando do motor estiver “cortado” no solo, que o reacionamento subsequente não seja feito com a hélice embandeirada.
- 3 - em casos em que a RPM normal, em “catavento”, em baixa velocidade indicada, pode cair o suficiente para impedir o embandeiramento, o Manual de Vôo (AFM), ou Manual de Operação do Piloto (POH) ou Manual do Proprietário, avisam o piloto que o embandeiramento não pode ser realizado abaixo de uma certa RPM. No entanto, as implicações completas da situação podem nem sempre ser claras, e outros fatores dos quais um piloto deve estar ciente são:
 - 3.1 - no caso de uma falha de motor causada por um evento (problema) mecânico grave (por exemplo, rolamentos travados devido à perda de óleo), a taxa de desaceleração do motor pode ser rápida e, portanto, é imperativo que o piloto tome medidas imediatas para embandeirar a hélice, antes que a RPM caia para a região de 1.000 RPM;
 - 3.2 - na maioria dos bimotores, o procedimento usual ao “cortar” um motor com falha (perda de potência) é inicialmente reduzir o acelerador (pela manete de pressão admissível, para controle de potência) do motor inoperante. Isso serve para confirmar qual motor falhou antes de iniciar as ações de embandeiramento. No entanto, se a RPM em cata-vento (*windmillig*) tiver reduzido em direção à região de rotação crítica, onde o embandeiramento pode não ser bem-sucedido, então “reabrir” o acelerador geralmente aumentará a RPM ligeiramente e aumentará a probabilidade da capacidade de embandeiramento das pás da hélice.
 - 3.3 - em caso de falha de motor, é importante não deixar a velocidade indicada reduzir abaixo da velocidade de subida com motor inoperante (*engine out climb speed*). Isso ajudará a garantir que a hélice continue a girar com RPM suficientemente alta para que o embandeiramento seja bem-sucedido. Se for necessário um desempenho otimizado, é vital atingir e manter essa melhor velocidade de subida com motor inoperante (*best engine out climb speed*); e,
 - 3.4 - a perda de desempenho associada com uma hélice parada em passo mínimo ou, mais importante, com uma hélice em cata-vento (*windmillig*) é potencialmente séria. O arrasto adicional reduzirá consideravelmente o desempenho de subida na operação monomotor em comparação à performance com a hélice totalmente embandeirada. A controlabilidade direcional também será reduzida, embora o controle adequado ainda deva estar disponível até a velocidade mínima de controle (VMCA - *minimum control airborne speed*), pois a VMCA é determinada com a hélice na condição existente antes do embandeiramento pelo piloto, ou seja, normalmente com uma hélice em cata-vento (*windmillig*). Provavelmente não será possível compensar (“trimar”) a aeronave pelo compensador do leme para velocidade de melhor razão de subida (*best rate of climb speed*) e uma força considerável pelo pé no pedal poderá ter que ser mantida para garantir direção (rumo). Entretanto, não é demais enfatizar que, se for necessário ganhar ou conservar altitude, o melhor desempenho disponível é essencial e, para isso, a melhor velocidade de subida com motor inoperante (*best engine out climb speed*) tem de ser mantida.