

ESFORÇOS GERADOS PELO MOTOR

AUTOR: ALAN BRAGA

1.0 INTRODUÇÃO

O motor no Paramotor gera a propulsão, chamada de empuxo. Essa é a força desejada. Porém, a geração de empuxo também produz efeitos secundários que precisam ser compreendidos e administrados.

Quando bem compreendidos e controlados, esses efeitos são inofensivos. Quando mal compreendidos ou mal administrados, podem trazer consequências graves ao voo.

Os principais são o efeito torque e a precessão giroscópica. Esses efeitos podem alterar a trajetória de voo, provocar giros e, em situações extremas, enrolar os tirantes e levar à queda do piloto.

2.0 EMPUXO

Uma hélice possui perfil aerodinâmico, assim como uma asa (figura 1). O empuxo é gerado pelo mesmo princípio pelo qual uma asa gera sustentação.

Ao acelerar o motor, a rotação da hélice faz com que as pás se desloquem no ar e produzam empuxo.

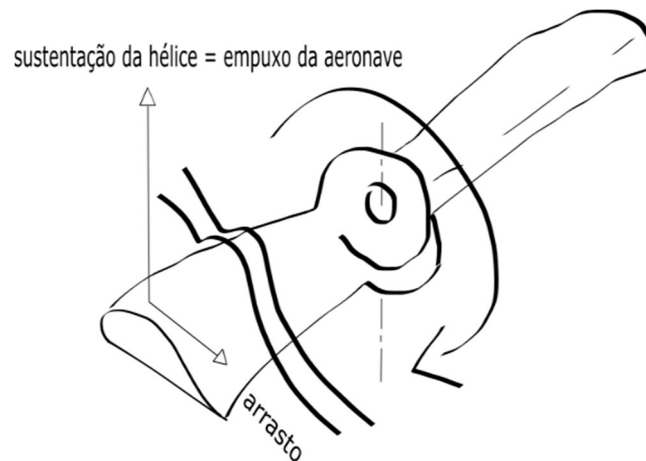


Figura 1: Empuxo na hélice

No Paramotor, o aumento de potência altera principalmente a inclinação do conjunto e a trajetória de voo. O ângulo de ataque pode sofrer pequena variação, mas não deve ser confundido com a inclinação, pois o vento relativo também muda com a trajetória. Na subida, parte do empuxo passa a atuar contra o peso, contribuindo para a ascensão.

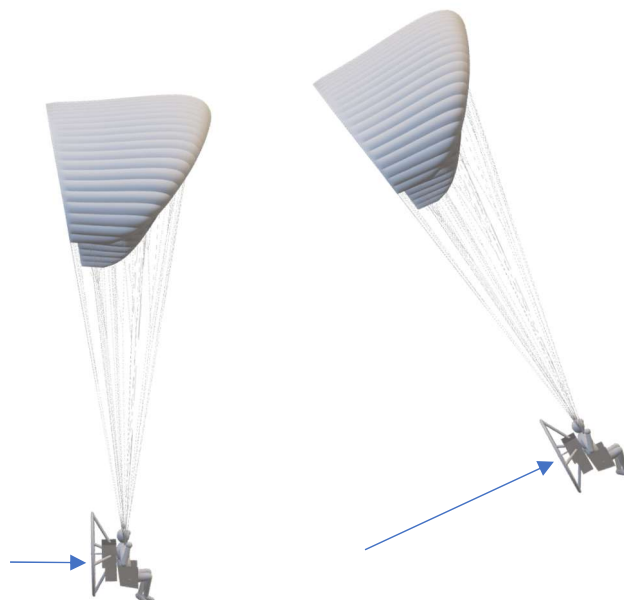


Figura 2: Efeito do empuxo no Paramotor

3.0 EFEITO TORQUE

Em termos práticos, o efeito torque no Paramotor pode ser entendido como a tendência do grupo motopropulsor inclinar para a direita ou para a esquerda em sentido oposto à rotação da hélice (figura 3).

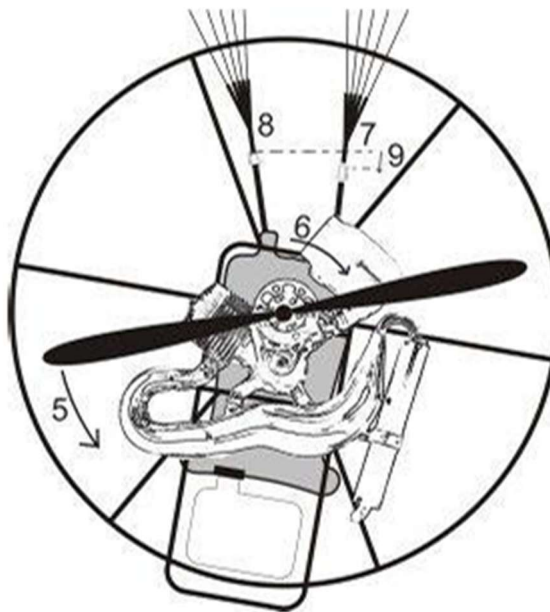


Figura 3: Efeito torque no Paramotor
Fonte: SCOUT PARAMOTOR

A terceira lei de Newton estabelece que toda ação produz uma reação de mesma intensidade e sentido oposto.

Devido ao arrasto aerodinâmico da hélice, o motor precisa aplicar torque para mantê-la girando. Ao mesmo tempo em que o motor aplica torque na hélice, a hélice reage sobre o motor com torque de mesma intensidade em sentido oposto. Como consequência, o motor e toda a estrutura tendem a girar no sentido contrário ao da hélice.

Enquanto a rotação do motor permanece constante, o efeito torque está relacionado principalmente à resistência aerodinâmica da hélice ao giro. Porém, existe outra parcela desse efeito que aparece apenas quando a rotação está variando. Essa parcela dinâmica está associada ao momento de inércia.

O momento de inércia é a grandeza física que expressa a dificuldade de alterar o estado de rotação de um corpo.

Esse efeito pode ser percebido ao acionar uma serra circular elétrica. Para tirar o disco do repouso e colocá-lo em rotação é necessário aplicar torque, e nesse instante surge uma reação que é sentida como um tranco na mão. No Paramotor, esse mesmo efeito pode ser percebido quando o motor é acelerado bruscamente, por exemplo, durante a corrida de decolagem. Nessa situação, pode ocorrer um tranco capaz de comprometer a estabilidade, o equilíbrio e a trajetória.

3.1 Componentes do efeito torque

Quando o plano de rotação da hélice está totalmente na vertical, o efeito torque tende apenas a puxar um dos tirantes mais para baixo que o outro, fazendo o parapente tender a curvar para o lado mais baixo.

Se o plano de rotação da hélice estivesse na horizontal, o efeito torque tenderia a enrolar os tirantes, fenômeno popularmente chamado de **twist**. Portanto, quando o plano de rotação da hélice está inclinado, o efeito torque passa a ter duas componentes: uma tende a puxar um dos tirantes mais para baixo, e a outra tende a enrolá-los.

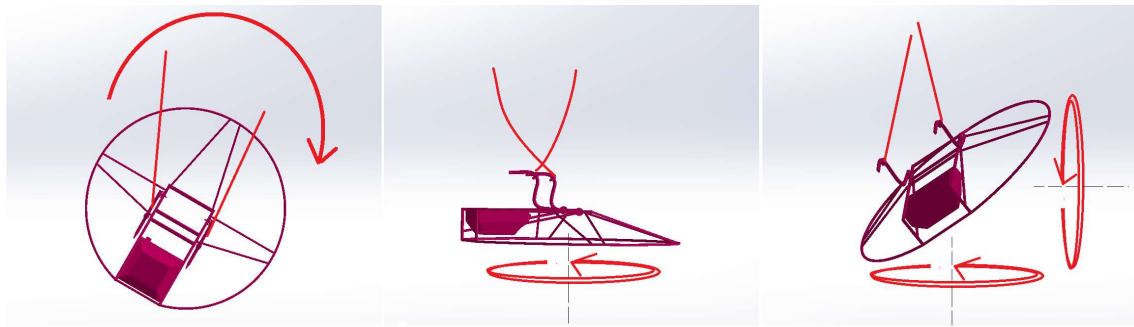


Figura 4: Componentes do efeito torque no Paramotor

4.0 EMPUXO ASSÍMÉTRICO

O empuxo assimétrico ocorre quando a hélice produz mais empuxo em um lado do disco do que no outro.

Quando o plano de rotação da hélice está inclinado, uma das pás avança no vento relativo gerado pelo deslocamento da aeronave, enquanto a outra recua (figura 5).

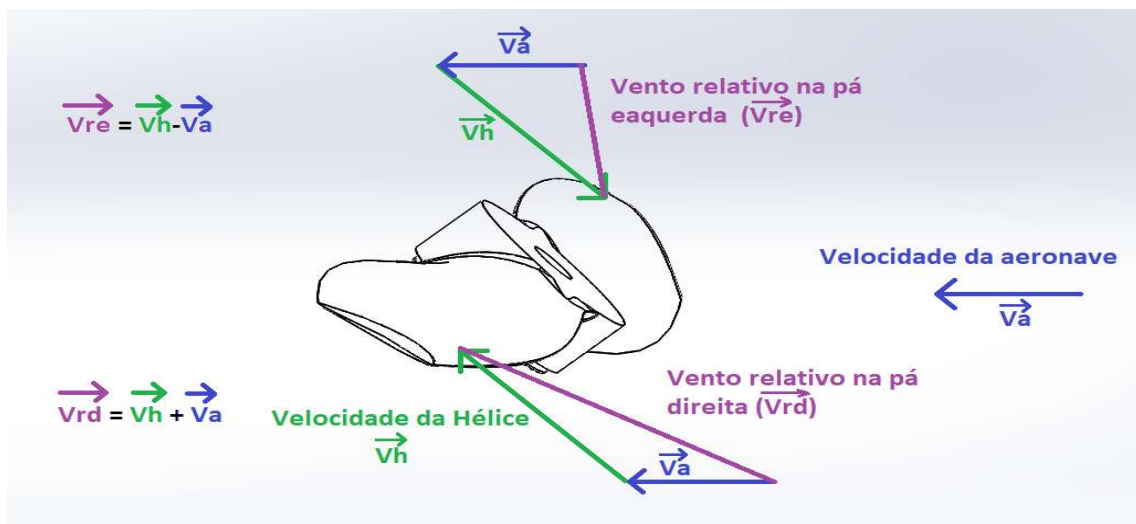


Figura 5: Empuxo assimétrico

Na figura 5, o plano de rotação da hélice está inclinado e a aeronave se desloca da esquerda para a direita. Considerando a hélice girando no sentido horário, a pá do lado direito terá maior velocidade relativa, pois sua rotação se soma à velocidade da aeronave. Já a pá do lado esquerdo terá menor velocidade relativa, pois sua rotação se opõe ao deslocamento. Por isso, o empuxo tende a ser maior no lado direito, deslocando o centro de empuxo para esse lado.

No Paramotor, esse efeito tem pouca expressividade prática, ainda assim, seu estudo é útil para ampliar a compreensão do tema. Em aviões, esse efeito é mais perceptível, sobretudo na decolagem.

5.0 EFEITO GIROSCÓPICO

Quando uma massa gira em torno de um eixo, ela tende a manter esse eixo de rotação devido à conservação do momento angular.

Quando se aplica um torque que tenta inclinar esse eixo, a reação não ocorre no mesmo ponto da força aplicada, mas cerca de 90° adiante no sentido de rotação. Esse comportamento gera um movimento chamado precessão giroscópica (figura 6).

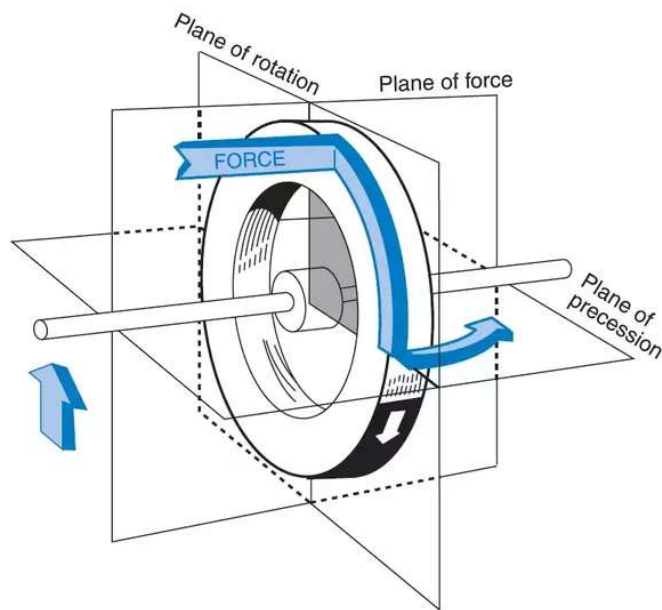


Figura 6: Efeito giroscópico
Fonte: guiadoaviador.wordpress.com

No Paramotor, sempre que uma força tenta alterar a inclinação do eixo de rotação da hélice, pode ocorrer precessão giroscópica.

Na figura 7, a força P (peso), atuando sobre o braço de alavanca “d” (distância entre o centro de massa e o ponto de ancoragem), gera o torque “T”. Esse torque se manifesta, 90° adiante, como um movimento de precessão giroscópica “G”.

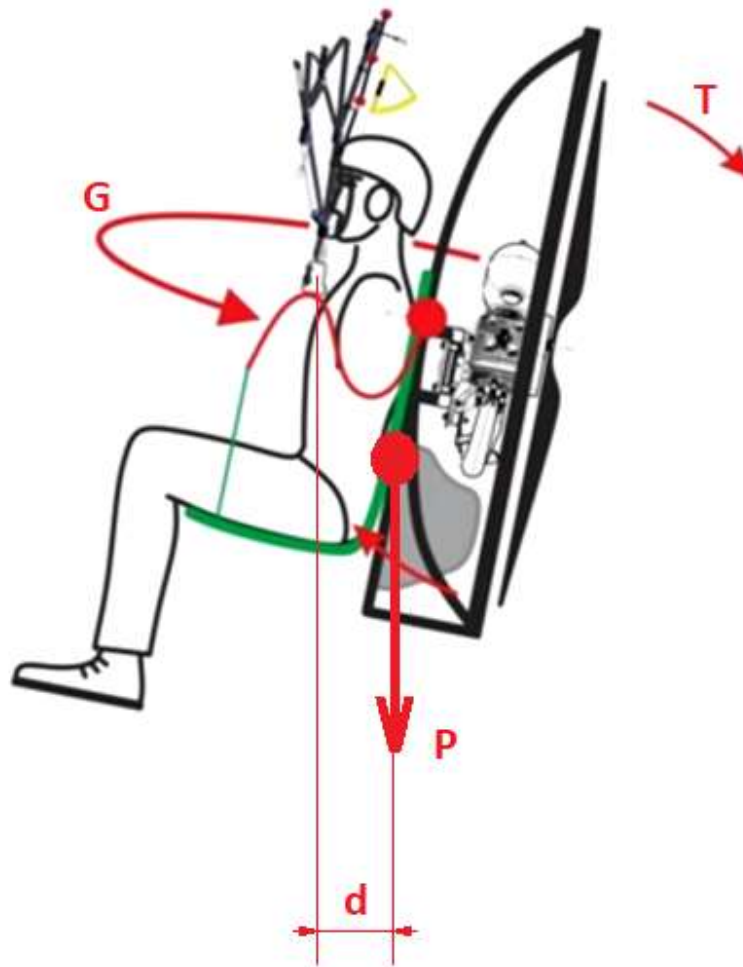


Figura 7: Efeito giroscópico
Fonte: adaptado de Scout Paramotor

6.0 TWIST

A tradução de **twist** é torção. No uso informal do Paramotor, emprega-se o verbo aportuguesado **twistar** para indicar que o piloto sofreu torção nos tirantes.

O **twist** ocorre por uma combinação de fatores, sendo os principais o torque e a precessão giroscópica.



Figura 8: Twist

Fonte: <https://www.footflyer.com/torque-effects-loaded-riser-twist/>

Se as forças que atuam para provocar o twist forem muito intensas, o piloto poderá sofrer um acidente.



Figura 9: Twist

Fonte: <https://www.footflyer.com/torque-effects-loaded-riser-twist/>

7.0 AJUSTE DA ANCORAGEM

Uma das principais causas do **twist** é a regulação incorreta da ancoragem. Quanto maior a inclinação da estrutura, maior a componente do efeito torque no sentido de torcer os tirantes.



Figura 10: Ancoragem mal regulada, muito inclinada

Antes do primeiro voo, é fundamental que o piloto se pendure no equipamento e ajuste corretamente a ancoragem.

Se o plano de rotação da hélice estiver totalmente na vertical, não haverá componente do efeito torque atuando no sentido de provocar **twist**. Porém, deixar o Paramotor totalmente reto tende a gerar desconforto. Por isso, uma inclinação entre **5° e 15°** é considerada adequada.



Figura 11: Ajuste da inclinação

8.0 POSTURA NA DECOLAGEM

Um dos erros mais comuns de postura na decolagem ocorre quando o piloto tenta gerar tração com as pernas e leva o peito para frente (figura 12).

No Paramotor, o conceito de decolagem é diferente do voo livre. No voo livre, o piloto precisa tracionar com as pernas. No Paramotor, não. Quem fornece a tração é o motor. As pernas apenas acompanham o deslocamento, como rodas.

Quando o piloto coloca o peito para baixo, surgem vários problemas. Um deles é o aumento do risco de perder o equilíbrio e cair para frente. Outro é que, se o objetivo é subir, essa postura faz com que parte do empuxo passe a atuar para baixo, o que prejudica a decolagem.

Além disso, ao tentar tracionar com as pernas, o piloto adiciona uma parcela de propulsão enquanto ainda está em contato com o solo. Quando os pés saem do chão, essa parcela desaparece. Com isso, a velocidade pode cair, a sustentação diminui e torna-se mais comum a falsa decolagem, situação em que o piloto chega a sair do chão, mas retorna logo em seguida.

O problema principal, porém, aparece quando essa postura se soma a uma regulagem muito inclinada. Nessa condição, ao sair do chão com o peito projetado para frente, o eixo de rotação da hélice precisa percorrer um ângulo maior até se estabilizar, aumentando o efeito de precessão giroscópica.



Figura 12: Postura errada

Uma boa postura é aquela em que o piloto decola com o peito para cima (figura 13).

Dessa forma, evitará a falsa decolagem e terá menos problemas com o efeito giroscópico.



Figura 13: Postura correta

9.0 CONCLUSÃO

Precisamos de empuxo para decolar e, com ele, surgem efeitos secundários que podem ser prejudiciais.

Os principais efeitos aos quais o piloto deve estar atento são o torque e o efeito giroscópico.

Para reduzir esses efeitos, é necessário regular corretamente a inclinação do motor por meio do ajuste do C.G. e adotar postura adequada na decolagem.

A atitude do piloto é fundamental. Ao perceber o início do problema, deve administrar a aceleração do motor, pois é ela que fornece a energia para que esses efeitos se manifestem.