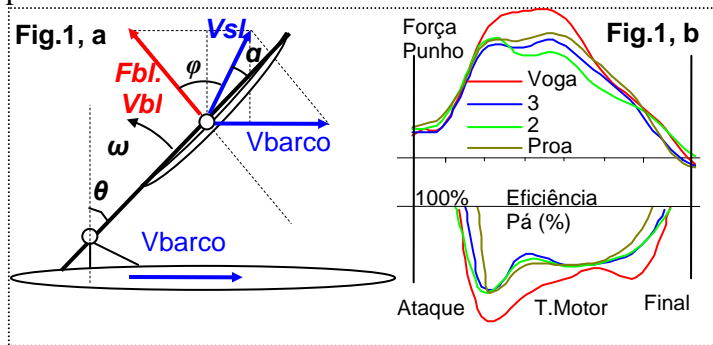


### Eficiência propulsiva da pá e eficácia

Já abordámos a eficiência propulsiva da pá (RBN 2007/12:1,3) e vamos continuar: o que significa, como pode ser avaliada e melhorada.



Lembremos que a eficiência da pá  $Ebl$  é calculada pelo rácio de potências (Fig. 1, a):

$$Ebl = (Ptot - Pw) / Ptot \quad (1)$$

onde  $Ptot$  é a potência total produzida pelo remador,  $Pw$  a potência perdida gasta a mover a água na pá. Estas potências instantâneas são calculadas por:

$$Ptot = Fbl Vbl \quad (2)$$

onde  $Fbl$  é força na pá,  $Vbl$  é a velocidade relativa da pá relativa ao referencial barco, e

$$Pw = Fbl Vsl \cos \varphi \quad (3)$$

onde  $Vsl$  é a velocidade de arrasto da pá relativamente à água,  $\varphi$  é o ângulo entre os vetores desta velocidade e força na pá  $Fbl$ . O ângulo  $\varphi$  é o ângulo complementar do ataque,  $a$  (assumindo que a força da pá é perpendicular à sua superfície), pelo que:

$$\cos \varphi = \cos(90 - a) = \sin a \quad (4)$$

Combinando as equações 1 - 4 e movendo  $Fbl$  para fora dos parênteses, temos:

$$Ebl = (Vbl - Vsl \sin a) / Vbl = 1 - (Vsl \sin a) / Vbl \quad (5)$$

Depois, pela equação geral da força de arrasto:

$$Fbl = k \rho A Vsl^2 \quad (6)$$

onde  $\rho$  é a densidade da água,  $A$  é a área da pá,  $k$  é o fator de arrasto combinado da pá que depende da forma da pá e ângulo de ataque (este último define o rácio do 'lift' e dos fatores de arrasto, ver 2). Portanto, o arrasto da pá  $Vsl$  pode ser definido como:

$$Vsl = (Fbl / (k \rho A))^{0.5} \quad (7)$$

Substituindo  $Vsl$  na equação 5, temos:

$$Ebl = 1 - ((Fbl / (k \rho A))^{0.5} \sin a) / Vbl = 1 - \sin a / (k \rho A)^{0.5} * Fbl^{0.5} / Vbl \quad (8)$$

A equação é útil para responder à questão: **Que fatores afetam a eficiência propulsiva da pá?**

1. A eficiência da pá é maior quando o ângulo de ataque é menor ( $\sin a$  é menor). Para  $a=0$  (velocidade da pá é paralela ao seu eixo) a pá é absolutamente eficiente ( $Ebl=100\%$ ). Este efeito é designado por "hidro lift ideal", quando os vetores de força e velocidade na pá são perpendiculares, o arrasto e as perdas de energia são zero.
2. A eficiência da pá é maior quando qualquer dos seus multiplicadores  $k \rho A$  aumenta: a forma da pá é mais eficiente ( $k \uparrow$ ), e/ou a água é mais densa ( $\rho \uparrow$ ), e/ou a área da pá é maior ( $A \uparrow$ ).

3. A eficiência da pá é maior quando o rácio  $Fbl^{0.5} / Vbl$  é menor, i.e. a força da pá diminui mas a velocidade da pá sobe. Tal acontece no fim do tempo motor (Fig.1, b), o que explica o aumento da curva de eficiência. A eficiência é 100% quando a força na pá é zero, i.e. o remador não faz nenhuma força no remo mas a pá continua a mover-se na água. Quando a força na pá é negativa ( $Fbl < 0$ ), a eficiência na pá não é definida pela equação 8. No entanto, a partir da equação 1,  $Ebl$  pode ser maior que 100%, se  $Pw$  é negativa. Tal significa que a energia não é utilizada para fazer mover a água na pá mas é tirada dela e adicionada à potência total do remador, i.e., o remador diminui a velocidade do barco.

Os primeiros dois pontos podem ser usados para diminuir a quantidade de energia desperdiçada pelo arrasto da pá apesar da densidade da água ser resultado das condições e as possibilidades de melhoria do ângulo de ataque, forma da pá e sua área, serem muito limitadas. O 3º ponto é bastante controverso:

- O rácio da força da pá e velocidade pode ser alterado pela afinação: para uma alavanca externa duas vezes maior que a alavanca interna, a força da pá decresce duas vezes mas a sua velocidade aumenta na mesma razão. Porém, a força na equação 8 está numa raiz quadrada pelo que o rácio  $Fbl^{0.5} / Vbl$  diminuiu, o que explica **a eficiência da pá ser maior com afinações mais pesadas** (RBN 2011/09).
- Com o mesmo arrasto da pá  $Vsl$ , a sua velocidade  $Vbl$  (relativa ao barco) é diretamente proporcional à velocidade do barco,  $Vbarco$ . Isto explica porque **a eficiência da pá parece ser maior nos barcos maiores/mais rápidos** (3), apesar do arrasto da pá real poder ser o mesmo.
- Aumentar a eficiência da pá por decréscimo da força da pá não faz sentido porque diminui a potência total e propulsiva – o principal objetivo do remo. **Numa tripulação, o remador mais forte tem, geralmente a menor eficiência na pá e viceversa** (Fig.1, b). Portanto, a correlação entre a força média e a eficiência da pá no interior duma equipa é negativa ( $r = -0.48$ ).

Concluindo: Na sua atual definição, **a eficiência propulsiva da pá pode ser usada para uma avaliação limitada das qualidades do equipamento e do remador em manipular o remo mas só com uma força e velocidade constante**. Outra medição deve ser utilizada para avaliar a eficácia combinada do trabalho da pá.

### Referências

1. Affeld, K., Schichl, K., Ziemann, A. (1993). Assessment of rowing efficiency. International journal of sports medicine, 14, S39 S41.
2. Caplan N., Gardner T., (2006) A fluid dynamic investigation of the Big Blade and Macon oar blade designs in rowing propulsion. Journal of Sports Sciences, 1 – 8
3. Kleshnev V. (1999) Propulsive efficiency of rowing. In: Proceedings of XVII International Symposium on Biomechanics in Sports, Perth, Australia, p. 224-228.