

## UM MÉTODO PARA CÁLCULO DO DESEMPENHO DE CICLISTAS NUMA CRONOESCALADA EM RAMPA CURTA

*Pedro de F.V. Carvalho*

*Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra,  
Pólo II da Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal*

[pedro.carvalho@dem.uc.pt](mailto:pedro.carvalho@dem.uc.pt)

**PALAVRAS-CHAVE:** Cálculo do desempenho, Ciclismo, Cronoescalada, Rampa curta, Optimização do desempenho

### 1 INTRODUÇÃO

A optimização do desempenho em provas de ciclismo é um tópico importante pois permite extrair o melhor resultado de um ciclista num determinado momento. Neste trabalho é proposto um método para cálculo do desempenho de ciclistas em provas de cronoescalada de rampa curta. O método é aplicado num ciclista numa prova de cronoescalada de rampa curta e os resultados da simulação são comparados com os resultados obtidos. O método proposto também é utilizado para fazer um estudo paramétrico e determinar o efeito de algumas variáveis, como a massa do ciclista ou a área efetiva de arrasto aerodinâmico, no tempo de conclusão da prova. O modelo de cálculo tem em conta a massa do ciclista, a massa da bicicleta, o coeficiente de rolamento dos pneus em função da pressão, a área efetiva de arrasto aerodinâmico, a evolução da potência desenvolvida pelo ciclista em função da duração do esforço e da cadência de pedalagem. Fixada a massa do ciclista e da bicicleta as variáveis que têm mais influência na duração da prova são a pressão de insuflação dos pneus e a relação de transmissão engrenada em cada segmento do percurso.

### 2 MÉTODO E RESULTADOS

O método aqui apresentado foi utilizado para otimizar o desempenho de um ciclista numa prova de cronoescalada em rampa curta. A prova é a 3ª Subida Mítica da Ladeira da Rainha Santa Isabel que se realizou em Coimbra no dia 10 de junho de 2017, organizada pela União de Freguesias de Santa Clara e Castelo Viegas, e é aberta a ciclistas masculinos e femininos de todas as idades federados ou não. O percurso da prova tem uma extensão de 257,5 m, um desnível acumulado de 38 m e um piso em calçada.

O percurso da prova foi considerado dividido em três segmentos cujo distância percorrida [1], altitude inicial e final [1], desnível e declive médio estão apresentados na Tabela 1.

A velocidade média do ciclista  $v$  em m/s em cada segmento é dada pela Eq. (1) implícita.

$$v = \frac{P_R}{mg \tan\left(\sin^{-1}\left(\frac{h_f - h_i}{d}\right)\right) + C_R mg \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{h_f - h_i}{d}\right)\right) + C_D A_f \frac{1}{2} \rho_a v^2} \quad (1)$$

O tempo  $t$  em segundos que o ciclista demora a percorrer cada segmento do percurso é dado pela Eq. (2) onde  $d$  é a distância em metros percorrida pelo ciclista em cada segmento e  $v$  é a velocidade média do ciclista em m/s em cada segmento.

$$t = \frac{d}{v} \quad (2)$$

A potência desenvolvida por um ciclista depende da duração do esforço [2], da cadência de pedalagem e da frequência cardíaca [3]. A potência em W desenvolvida pelo ciclista na roda em esforço máximo, a uma cadência de pedalagem no intervalo [60 rpm, 70 rpm], depende da duração total da prova em segundos e é dada pela Eq. (3). Esta correlação foi obtida ajustando um polinómio de 2º grau a 4 pares de pontos  $(\log t, P_R)$  representados num gráfico cartesiano  $(x, y)$ , correspondentes a esforços realizados pelo ciclista em esforço máximo com durações no intervalo [126,8 s, 3643 s].

$$P_R = a \times (\log t)^2 + b \times \log t + c \quad (3)$$

Os valores de  $a$ ,  $b$  e  $c$  para este ciclista são  $a = 44,266$ ,  $b = -370,75$  e  $c = 979,07$ .

A potência média na roda, a velocidade média e a duração de cada segmento são calculadas utilizando as Eqs. (1), (2) e (3) num procedimento iterativo até se obter convergência. A Tabela 1 apresenta os resultados do método aplicado ao ciclista nas condições da prova.

Tabela 1. Segmentos do percurso e percurso total: comprimento [1], altitude inicial e final [1], desnível, declive médio, potência média na roda, velocidade média e duração.

Segmento	$d$ [m]	$h_i$ [m]	$h_f$ [m]	$(h_f - h_i)$ [m]	Declive	$P_R$ [W]	$v$ [m/s]	$t$ [s]
1	68,0	27	37	10	0,1487	448,73	3,820	17,799
2	111,0	37	55	18	0,1643	448,73	3,502	31,698
3	78,5	55	65	10	0,1284	448,73	4,316	18,190
Total	257,5	27	65	38	0,1492			67,687

O tempo que o ciclista demorou a concluir a prova foi 64,917 s. O tempo calculado para o ciclista concluir a prova foi 67,687 s. A diferença entre o tempo calculado e o tempo realizado é 2,770 s em termos absolutos e 4,267% em termos relativos.

### 3 CONCLUSÃO

Foi desenvolvido um método para calcular o tempo que um ciclista demora a concluir uma prova de cronoescalada em rampa curta e foi aplicado a um ciclista que participou na 3ª Subida Mítica da Ladeira da Rainha Santa Isabel. Este método foi utilizado para calcular o tempo que o ciclista demoraria a concluir esta prova e a diferença entre o tempo calculado e o tempo realizado é 2,770 s em termos absolutos e 4,267% em termos relativos. O método é utilizado para determinar a relação de transmissão mais adequada para cada segmento de forma a ser realizado à cadência de pedalagem para a qual o ciclista produz maior potência.

### REFERÊNCIAS

- [1] *Google Earth Pro*, Google, 2024.
- [2] D. Sanders, M. Heijboer, I. Akubat, K. Meijer and M. K. Hesselink "Predicting High-Power Performance in Professional Cyclist," *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 12, no. 3, pp. 410-413, 2017.
- [3] J. R. Coast and H. G. Welch, "Linear Increase in Optimal Pedal Rate with Increased Power Output in Cycle Ergometry," *European Journal of Applied Physiology*, vol. 53, no. 4, pp. 339-342, Jan 1985.