

# Uma breve análise da física da corrida de 100 metros rasos

A brief analysis on the physics of the 100-meter sprint

**M. T. Yamashita**

Instituto de Física Teórica, Unesp - Universidade Estadual Paulista, CP 70532-2, CEP 01156-970, São Paulo, SP, Brasil

Contato do autor: yamashita@ift.unesp.br

**Resumo.** Neste artigo, nós analisamos o desempenho do atleta jamaicano Usain Bolt nas provas de 100 m rasos das Olimpíadas de Pequim (2008) e do Campeonato Mundial de Atletismo em Berlim (2009). Através de uma função que ajusta a velocidade ao longo do tempo, nós calculamos diversas grandezas físicas como a força máxima, a potência máxima e a energia mecânica total produzidas pelo atleta em ambas as corridas. Utilizando o nosso modelo simplificado podemos dizer que, embora o tempo em Berlim tenha sido menor, o desempenho atlético de Usain Bolt, medido em termos da potência e da energia mecânica, foi melhor em Pequim.

**Palavras-chave.** *Fibras musculares; Força; Plasticidade fenotípica; Resistência; Vias metabólicas.*

**Abstract.** In this article we analyze the performance of the Jamaican athlete Usain Bolt in the 100 m sprint at the Summer Olympics in Beijing (2008) and World Championships in Athletics in Berlin (2009). We fitted a function for the velocity and calculated several physical quantities, such as the maximum force, the maximum power, and the total mechanical energy produced by the athlete in both races. By using our simplified model we can say that, despite the smaller time in Berlin, the performance of Usain Bolt, measured in terms of the power and mechanical energy, was better in Beijing.

**Keywords.** *Endurance; Force; Metabolic pathways; Muscle fibers; Phenotypic plasticity.*

Recebido 22mar12

Aceito 23dez12

Publicado 15jan14

## Introdução

Lendo o título deste trabalho talvez você tenha sentido falta da palavra “educação” antes de “física”. Não. Não se trata de um esquecimento; trata-se de Física mesmo, não de Educação Física. O que faremos aqui é analisar a força, a potência e a energia envolvidas em uma corrida de alto desempenho de 100 metros rasos utilizando um ponto de vista típico dos físicos. Físicos geralmente identificam os aspectos mais relevantes de um determinado problema e utilizam, posteriormente, várias simplificações e aproximações. Faz-se necessária a justificativa, pois a análise de qualquer movimento, por mais simples que ele seja, pode se tornar tão complicada quanto se queira sem, no entanto, melhorar substancialmente a qualidade da análise.

Quando mencionamos uma corrida de alto desempenho no primeiro parágrafo, nós fomos, na verdade, muito modestos, pois nos referimos à análise específica da corrida do famoso velocista jamaicano (e homem mais rápido do mundo), Usain Bolt. Este incrível atleta é o atual recordista mundial da prova de 100 metros rasos com um tempo de 9,58 s.

A evolução dos recordes mundiais nesta prova pode ser vista na figura 1. Uma boa indicação da superioridade do atual recordista do mundo é notar que antes do atual recorde os dois últimos melhores tempos do mundo - 9,72 e 9,69 s - também pertenciam a Usain Bolt. A superioridade

de deste atleta também fica evidente na queda acentuada dos últimos pontos quando comparados com o restante da figura. Um fato curioso de se lembrar consiste na prova em que Bolt conseguiu o tempo de 9,69 s nos Jogos Olímpicos de 2008 em Pequim: alguns metros antes do final da prova Bolt começou a olhar para trás e comemorar a sua

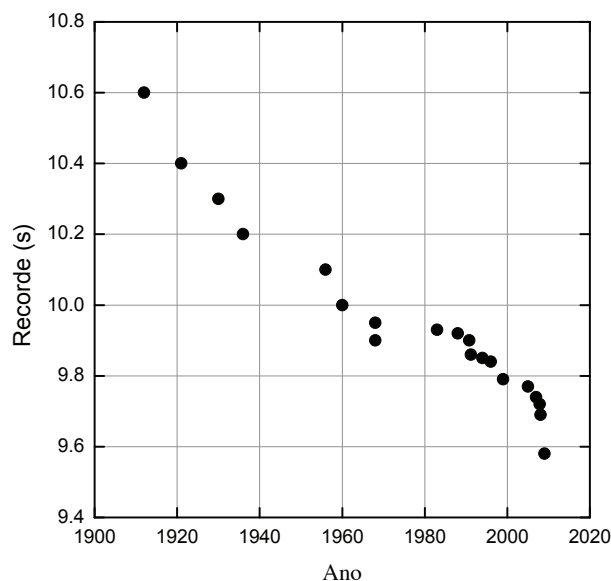


Figura 1. Evolução dos recordes mundiais da prova de 100 metros rasos ao longo dos anos.

vitória, diminuindo consideravelmente a sua velocidade. Um grupo de pesquisadores analisou essa corrida e estimou qual teria sido o tempo final da prova do Bolt caso ele não tivesse reduzido a sua velocidade nos últimos 2 s. No melhor cenário construído por eles, Bolt conseguiria um tempo entre 9,41 s e 9,59s [ (Eriksen et al., 2009).

Um ano após a quebra do recorde mundial em Pequim, Bolt quebrou novamente o recorde no campeonato mundial de atletismo de 2009, em Berlim, com um tempo de 9,58 s. Uma melhora de 0,11 s parece pouco, mas quando se trata de corredores de elite que estão bem próximos ao limite do ser humano, essa melhora é bastante relevante. Podemos, portanto, concluir que a performance e, conseqüentemente, a condição física do Usain Bolt melhorou após 1 ano de treinamento, certo? Não. Não é bem isso o que mostra a análise da corrida.

Um primeiro fator que deve ser levado em conta para a análise dessa prova é a velocidade do vento no momento da corrida. No caso do mundial de Berlim, todos os corredores da final dos 100 m rasos se beneficiaram de um vento a favor de 0,9 m/s. O fator “vento” é tão importante que os tempos eventualmente menores que o recorde mundial, mas obtidos em provas com ventos com velocidades maiores que 2 m/s no mesmo sentido da corrida, não são considerados como recordes.

### Os tempos de Usain Bolt em Beijing e Berlim

Vamos, então, iniciar a nossa análise da corrida do Usain Bolt ajustando uma curva às passadas do Bolt ao longo das finais de Pequim e Berlim. A tabela 1 mostra os tempos correspondentes a cada percurso de 10 m. Na última linha estão os tempos de reação em cada uma das provas. Podemos determinar a partir dessa tabela a taxa de variação do espaço ao longo do tempo, ou simplesmente a velocidade em função do tempo.

Um atleta que executa uma corrida que dura em torno de 10 s não possui tempo para determinar uma es-

tratégia como, por exemplo vou correr os primeiros 20 m moderadamente, nos próximos 30 m usarei somente 60 % da minha capacidade física para reservar minhas energias para o sprint final de 50 m. Obviamente, esse tipo de estratégia só funciona para corridas mais longas. No caso de uma corrida curta, a melhor estratégia é a do “máximo esforço”, ou em outras palavras, corra o mais rápido que você puder durante toda a prova utilizando toda a sua capacidade física. Nessa situação, a produção da energia utilizada pelo corpo provém basicamente de mecanismos anaeróbicos como a quebra de ATP em ADP e a hidrólise da glicose, como discutido no artigo Atividade Física e Plasticidade da Musculatura Esquelética (neste volume). É claro que essas fontes de energia são limitadas e na corrida de 100 m rasos, na condição do “máximo esforço”, elas geralmente duram somente um pouco mais do que 5 s. Após esse tempo é comum vermos uma diminuição da velocidade dos atletas, que sequer possuem energia para arrastar o ar (note que é preciso realizar um trabalho para “atravessar” o ar ou qualquer outro fluido). Assim, na função que adotaremos para a velocidade temos que levar em conta essa queda de rendimento no final da prova.

Antes de mostrarmos a função que iremos usar para representar matematicamente o perfil de velocidade, é importante comentar que cada atleta possui uma característica diferente, isto é, alguns atletas começam com uma aceleração menor e atingem o máximo da sua velocidade mais tardiamente que outros. Alguns atletas, porém, possuem uma queda de rendimento no final da prova menos intensa. Todavia, essa variação de estratégias deve ser provavelmente intrínseca às características de determinado atleta, ou seja, não podemos associar essas diferenças a algo consciente, mas, sim, à estratégia “corra o mais rápido que conseguir o tempo todo”.

Uma equação para a velocidade

A função que iremos adotar para a velocidade possui a seguinte forma [1]

$$v(t) = a(1 - e^{-ct}) - bt, \quad (1)$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são parâmetros ajustáveis,  $t$  é o tempo e  $e$  é a função exponencial. Note que a primeira parcela faz com que a função cresça até um máximo dado pela constante  $a$ , mas não dá conta da queda da velocidade no final da prova. Essa queda é modelada pela última parcela que corresponde a uma redução linear (proporcional a  $t$ ) de  $v(t)$ . O espaço percorrido, dado pela integral da equação (1), é dado por

$$x(t) = at - \frac{bt^2}{2} - \frac{a}{c}(1 - e^{-ct}). \quad (2)$$

Os parâmetros da equação (2) serão ajustados aos valores da tabela 1. A tabela 2 mostra os parâmetros ajustados e a figura 2 mostra o perfil da velocidade dada pela

Tabela 1. Tempos do Usain Bolt para percorrer cada trecho de dez metros nas finais da prova de 100 metros rasos nas Olimpíadas de Pequim (2008) e no Campeonato Mundial de Berlim (2009).

Distâncias (m)	Tempos em segundos	
	Pequim (2008)	Berlim (2009)
10	1,85	1,89
20	2,87	2,88
30	3,78	3,78
40	4,65	4,64
50	5,50	5,47
60	6,32	6,29
70	7,14	7,10
80	7,96	7,92
90	8,79	8,75
100	9,69	9,58
<b>Tempos de reação</b>	0,165	0,146

Tabela 2. Parâmetros ajustados das Equações (1) e (2).

Parâmetros	Pequim (2008)	Berlim (2009)
$a$	12,49 m/s	12,43 m/s
$b$	0,081 m/s <sup>2</sup>	0,032 m/s <sup>2</sup>
$c$	0,814 s <sup>-1</sup>	0,783 s <sup>-1</sup>

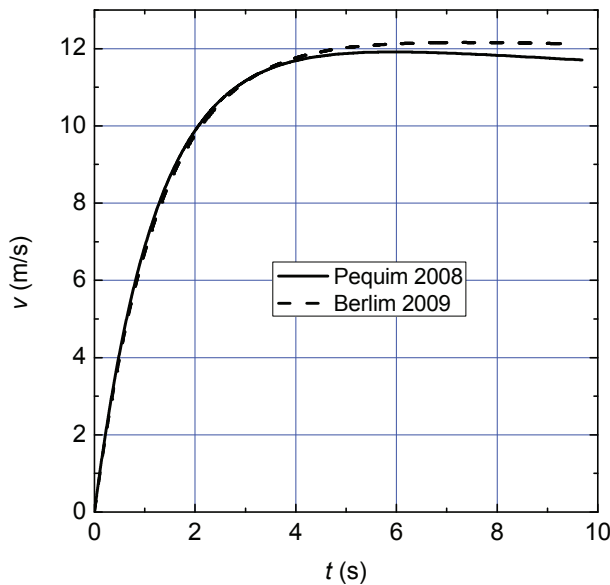


Figura 2. Velocidade em função do tempo (equação (1)) das corridas de 100 metros rasos dos recordes de Usain Bolt em Pequim e em Berlim.

equação (1).

Conforme já foi mencionado, a velocidade no final da prova diminui em virtude do esgotamento da energia do atleta. Porém, a diminuição em Berlim, onde havia um vento a favor de 0,9 m/s, é bem menor que no caso de Pequim. Essa diferença proveniente do gasto de energia poderá ser mais bem discutida olhando a curva da potência mecânica do atleta ao longo da corrida. Vale lembrar também que parte da redução acentuada da velocidade em Pequim ocorreu por causa da comemoração iniciada alguns metros antes do final da prova.

### Potência e energia mecânica produzidas por Usain Bolt

Para estimarmos a potência mecânica produzida temos que levar em conta a contribuição de três termos distintos: a potência mecânica associada ao aumento da energia cinética do atleta, mais a potência necessária para vencer a resistência do ar e, ainda, uma potência constante associada a efeitos “menores”, como, por exemplo, o balançar das pernas e o movimento de sobe-desce do corpo ao longo da corrida (essa hipótese - de uma potência adicional constante - é apenas uma aproximação para que possamos entender de maneira mais simplificada a Física de uma corrida de cem metros rasos; o artigo Locomoção Terrestre e Demanda Metabólica (neste volume) apresenta uma visão mais ampla e completa do gasto energético nos processos de locomoção).

Traduzindo o parágrafo anterior em uma equação matemática, temos que

$$P(t) = m \frac{dv}{dt} v + k(v - v_{\text{vento}})^2 v + 200W, \quad (3)$$

onde  $m$  é a massa do atleta,  $v_{\text{vento}}$  é a velocidade do vento (igual a zero em Pequim e 0,9 m/s em Berlim) e  $k$  é um parâmetro que está associado à dissipação da po-

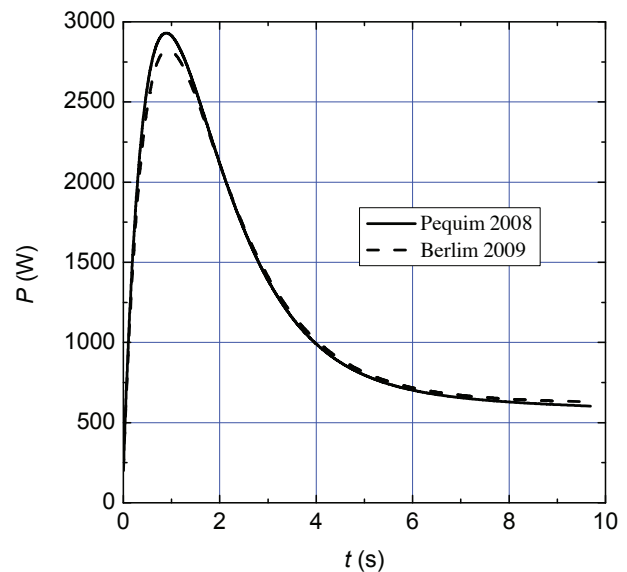


Figura 3. Potência mecânica total em função do tempo (equação (3)) das corridas de 100 metros rasos das finais do Usain Bolt em Pequim e em Berlim.

tência pelo arrasto do ar. Ele é dado por  $k = \frac{C_d \rho A}{2}$ , onde  $C_d = 0,5$  (um valor típico para o coeficiente de arrasto),  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  é a densidade do ar e  $A \approx 1 \text{ m}^2$  é a área frontal do atleta. Substituindo esses valores em  $k$  chegamos ao valor de  $0,3 \text{ W/(m/s)}^3$ . Para a massa do Usain Bolt foi utilizado  $m = 86 \text{ kg}$ . A figura 3 mostra a equação (3) com a velocidade dada pela equação (1) e os parâmetros dados na tabela 2.

Calculando a área sob as curvas de potência na figura 3 nós temos a energia total gasta por Bolt nas duas corridas. Esses valores assim como a aceleração inicial, dada pela inclinação da curva da velocidade em  $t=0$ , e a potência máxima em cada prova estão relacionados na tabela 3.

Tabela 3 - Aceleração e potência máximas e energia total produzidas por Usain Bolt em Pequim e em Berlim.

	Pequim (2008)	Berlim (2009)
<b>Aceleração máxima</b>	10,09 m/s <sup>2</sup>	9,70 m/s <sup>2</sup>
<b>Potência máxima</b>	2934 W	2827 W
<b>Energia total</b>	11611 J	11531 J

Utilizando o nosso modelo simplificado e analisando a tabela 3 podemos dizer que, embora o tempo em Berlim tenha sido menor, o desempenho atlético de Usain Bolt, medido em termos da potência e da energia mecânica, foi melhor em Pequim.

### Conclusão

Olhando para o desempenho de Usain Bolt em Pequim, superior ao de Berlin, devemos lembrar, ainda, que houve uma considerável diminuição da sua velocidade

de no final da prova em virtude da comemoração da vitória ter sido iniciada muito precocemente. De acordo com Eriksen et al. (2009) o melhor tempo que poderia ter sido obtido em Pequim (se não tivesse havido a comemoração) seria 9,41 s, 0,17 s a menos que o atual recorde mundial desta modalidade.

Podemos notar que a equação (1) que nos fornece a velocidade do atleta pode eventualmente se tornar negativa para tempos além de 2,5 e 6,5 minutos, respectivamente, para as corridas de Pequim e Berlim. Obviamente isso não faz sentido, já que indicaria um atleta que inverteu o sentido de sua corrida. Assim, aquela equação é válida somente para tempos de corrida curtos, como é o caso das corridas de 100 m. Uma possível melhora da equação (1) seria considerar a última parcela da potência (correspondente a um gasto de energia "parasítica"), e assumida aqui como uma constante (Helene e Yamashita, 2010), com uma dependência com a velocidade do tipo  $\gamma v$  (Kram e Taylor, 1990), onde a constante  $\gamma$  depende somente da massa e do tipo de animal que estamos considerando (no caso de humano esse valor é dado por  $\gamma = 4m$  W/(kg m/s). Uma consequência interessante deste termo é que o custo energético por unidade de distância torna-se uma constante e independente da velocidade do atleta, ou seja, a quantidade de energia gasta associada a esse termo "parasítico" é a mesma se você correr ou andar a mesma distância. Todavia, a questão referente a qual modelo devemos usar para descrever adequadamente a produção de energia mecânica em uma corrida de cem metros rasos—uma constante ou um termo proporcional à velocidade—ainda é uma questão não totalmente esclarecida. Uma discussão mais detalhada a respeito dessa questão aparece no artigo Locomoção Terrestre e Demanda Metabólica, neste volume.

## Referências

- Eriksen HK, Kristiansen JR, Lagrangen Ø, Wehus IK. 2009. How fast could Usain Bolt have run? A dynamical study. *American Journal of Physics* 77:224-228 .
- Helene O, Yamashita MT. 2010. The force, power, and energy of the 100 meter sprint. *American Journal of Physics* 78:307-309 .
- Kram R, Taylor CR. 1990. The energetics of running: a new perspective. *Nature* 346:225-267 .