

O recorde para o lançamento do peso não é batido há vinte anos. Estará isso relacionado com a Física?

Duarte Ferreira dos Santos

duartecsantos@gmail.com

Henrique Herculano de Carvalho

rikehmmc@gmail.com

João Afonso

jafonso0@hotmail.com

Externato Marista de Lisboa

Orientação: Prof. Rui Pedro Pinto

Desde o ano de 1990 que o recorde para o lançamento do peso, no caso das provas destinadas ao sexo masculino, não é batido.

Quais as razões para tal fenómeno, se hoje em dia há melhores condições de treino e uma preparação física desportiva mais eficaz?

Quais as condições e a posição geográfica no momento desse lançamento que ditou o actual recorde?

Ao estudar o tema “Física aplicada ao Desporto”, foi desenvolvido um projecto que teve como objectivo avaliar as condições ideais para a prática do lançamento do peso, e avaliar qual é a influência da força de resistência do ar nesta modalidade específica. Ao longo do trabalho foram investigados quais os factores que influenciam a força gravítica, avaliados os factores que possam originar um alcance menor do que o esperado, e analisado um vídeo de um atleta de alta competição para determinar a sua velocidade inicial, e o seu ângulo de lançamento, de forma a verificar se a técnica utilizada foi a mais correcta e as razões para tal, para além da comparação entre valores teóricos e reais. Foi ainda feita uma análise do ângulo de lançamento em função da altura e da necessidade de os atletas desta modalidade serem muito altos.

A Modalidade

O lançamento do peso é um dos inúmeros desportos nos quais intervêm movimentos de projecteis na atmosfera, sujeitos à força gravítica e a forças relacionadas com as características da nossa atmosfera.

Esta modalidade começou a ser praticada entre os séculos XIII a XII a.C., tendo sido inventada por soldados para ocupação dos tempos livres. No tempo do cerco a Tróia já havia relatos de concursos de lançamento de pedras entre os soldados. No século

XIV d.C., os soldados passaram a usar os projecteis dos canhões de guerra para fazer os lançamentos. Foi este tipo de bola, com cerca de 7,50 quilogramas de peso, que os universitários ingleses adoptaram nos torneios que realizavam em meados do século XIX, jogo que foi o verdadeiro antecessor do actual lançamento do peso (“peso” de 7,26 quilogramas) [6]. O objectivo do lançamento do peso é, conseqüentemente, atirar uma esfera de metal o mais longe possível. A esfera tem de cair dentro de uma área específica. Até finais da década de quarenta, o lançamento era feito com o atleta virado de frente para o campo de lançamento, mas nos anos cinquenta desenvolveu-se um novo estilo, em que o atirador roda 180° a fim de atingir uma maior velocidade de lançamento (nesta altura um pensamento de “físico” provocou uma alteração da técnica). Essa estratégia foi adoptada até aos dias de hoje pela sua notável eficiência.

Factores que influenciam o lançamento do peso

Um projectil lançado obliquamente está sob o efeito da força gravítica e da força de resistência do ar. Como tal, o valor da força gravítica no momento do lançamento tem uma influência considerável no alcance do projectil. Mas o valor do módulo da força gravítica não é sempre o mesmo? Em cada ponto do planeta existe um valor diferente para a aceleração da gravidade, a partir da qual é calculado o valor da força gravítica (em Lisboa, por exemplo, é de $9,801 \text{ ms}^{-2}$) que está essencialmente dependente de factores como a latitude, a altitude, e até a pressão atmosférica. Mas porque

é que estes factores têm uma influência tão grande? Em primeiro lugar, curiosamente, um dos factores que mais influencia o valor da força gravítica é a latitude a que é efectuado o lançamento. Tendo em conta que a Terra tem uma forma achatada, e que a força gravítica varia inversamente com o quadrado da distância entre o projectil e o centro do planeta (para um sistema com a mesma massa), é fácil concluir que, sendo o raio menor na zona dos pólos, o valor máximo para a aceleração gravítica é obtido precisamente nestas zonas do planeta, com um valor de aproximadamente $9,830 \text{ ms}^{-2}$. Contrariamente ao que acontece nos pólos, a zona do planeta na qual a distância ao centro é maior é a zona do Equador, diminuindo o valor da aceleração da gravidade no local, que passará a ser de $9,780 \text{ ms}^{-2}$. Assim, dado que a aceleração gravítica varia entre $9,780 \text{ ms}^{-2}$ e $9,830 \text{ ms}^{-2}$, no Equador o valor do alcance devia ser superior para a mesma massa, se o único factor condicionante fosse a latitude.

Em segundo lugar, outro dos factores que também influencia o valor da força gravítica é a altitude a que é efectuado o lançamento. Pelas mesmas razões apresentadas no caso anterior, é fácil concluir que quanto maior for a altitude no momento do lançamento, maior será a distância entre o centro do planeta e o projectil, e como tal, menor será o valor da aceleração da gravidade e conseqüentemente o módulo da força gravítica. Ou seja, o valor do alcance para uma mesma massa devia ser superior no cimo de uma montanha.

Há uma série de outros factores que, curiosamente, se descobriu também terem alguma influência no valor da força gravítica, tais como a topografia e geologia dos locais de lançamento – a presença de sistemas montanhosos na envolvente ou mesmo a densidade das rochas existentes no local – rochas densas, com minerais, aumentam o valor da aceleração da gravidade. (Hill, P.; Bankey, V. & Langenheim, V., 1997). A correcção de Bouguer é um exemplo de uma correcção feita caso a medição esteja sujeita à interferência de uma montanha. [4]

Para além da força gravítica, a força de resistência do ar é, sem dúvida nenhuma, outro dos inúmeros factores capazes de influenciar um lançamento oblíquo como é o caso do lançamento do peso. Mas afinal, qual é a real influência da força de resistência do ar num lançamento como o do peso? Em primeiro lugar, é necessário compreender que o módulo desta força depende do quadrado da velocidade (v^2) com que o corpo é lançado, do coeficiente aerodinâmico do corpo (c) em questão (para uma esfera como o caso do peso é de aproximadamente 0,50, para um camião é de aproximadamente 0,90), e ainda da densidade ou massa volúmica do ar (μ) no momento de lançamento e da área da secção recta do projectil (A) na direcção perpendicular à do movimento. A seguinte expressão relaciona as grandezas anteriormente enumeradas, permitindo calcular a força de resistência do ar num determinado momento do movimento do projectil.

$$F = \frac{1}{2} c \mu A v^2$$

Ou seja, tendo em conta que a velocidade de lançamento do peso é relativamente baixa, e que o seu coeficiente, por ser uma esfera, é também ele relativamente baixo, a força de resistência do ar acaba por não ter, teoricamente, muita influência no alcance do corpo, sendo por isso normalmente desprezada. Mas será realmente assim?

Por último, provavelmente o factor mais importante é o ângulo com que o projectil é lançado. De facto, é possível verificar que se o atleta lançar o peso com um ângulo muito baixo (próximo de 0°) ou muito alto (próximo de 90°) o alcance que irá obter será muito diferente do obtido se o atleta lançar com um ângulo próximo dos 45° , que permite a obtenção de muito melhores resultados. Desprezando a resistência do ar, esse ângulo pode ser obtido da forma descrita em baixo, sendo que o máximo da expressão ocorrerá quando $\sin 2\theta = 1$. Assim, o ângulo para o qual o alcance é máximo é 45° .

$$\begin{aligned} & \begin{cases} y = y_0 + v_0 \sin(\theta)t + \frac{1}{2} at^2 \\ x = x_0 + v_0 \cos(\theta)t + \frac{1}{2} at^2 \end{cases} \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow \begin{cases} 0 = v_0 \sin(\theta)t - \frac{1}{2} gt^2 \\ x = v_0 \cos(\theta)t \end{cases} \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow \begin{cases} t = \frac{2v_0 \sin(\theta)}{g} \\ x = \frac{2v_0^2 \sin(\theta) \cos(\theta)}{g} \end{cases} \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow x = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g} \end{aligned}$$

Sendo x a posição do corpo em xx (m), x_0 a posição inicial em xx (m), V_0 a velocidade inicial (m/s), y_0 a altura inicial (m), y a altura (m), t o tempo de voo (s) e a a aceleração (da gravidade neste caso, g) (ms^{-2}).

Análise dos recordes mundiais e de um atleta

Tendo em conta os cinco últimos recordes, procedeu-se a uma análise de qual foram os locais de lançamento, a sua latitude e altitude, de forma a investigar se algum dado interessante poderia estar relacionado com tal fenómeno. Os resultados foram os apresentados na Tabela 1 (IAAF, 2009).

Observando a tabela de pesquisas, verificamos que, tendo em conta os factores que influenciam o lançamento apresentados anteriormente, a latitude, nos cinco lançamentos mais longos, não parece ter influenciado os resultados (todos os lançamentos foram efectuados a latitudes médias).

Contudo, o lançamento mais longo jamais efectuado decorreu em 1990 a 1563 metros de altitude. Este facto, bastante curioso, não foi, obviamente, o principal responsável, mas tendo em conta que a diferença entre os dois principais recordes é de 0,06 m, a altitude pode perfeitamente ter sido a chave do sucesso.

Result.	Atleta	Nacionalidade	Local	Latitude	Altitude	Ano
23,12 m	Randy Barnes	EUA	Westwood, E.U.A	40° 3'	1563,00 m	1990
23,06 m	Ulf Timmermann	Alemanha	Chania, Grécia	35° 3'	1,00 m	1988
22,91 m	Alessandro Andrei	Itália	Viareggio, Itália	43° 9'	3,00 m	1987
22,84 m	Alessandro Andrei	Itália	Viareggio, Itália	43° 9'	3,00 m	1987
22,72 m	Alessandro Andrei	Itália	Viareggio, Itália	43° 9'	3,00 m	1987

Tabela 1 - Recordes Mundiais (IAAF) [7]

De forma a investigar quais as razões que levam a que o recorde do lançamento do peso não seja batido há vinte anos, decidimos analisar um vídeo de um atleta de alta competição [5], conseguindo obter dados reais para o ângulo de lançamento, velocidade inicial e comparar com os valores teóricos. O atleta analisado foi Christian Cantwell, no lançamento que foi o seu recorde pessoal, de 22,54 m, e um dos dez recordes mundiais. Para a análise, investigou-se qual é a altura do atleta, que é 1,98 m, de forma a ter uma escala para a análise do vídeo. Através dos três fotogramas apresentados de seguida, foi possível obter dados para a velocidade inicial do projectil e para o ângulo de lançamento do mesmo. Cada fotograma tem a duração de 1/30 de segundo.



Tendo em conta uma altura do atleta de aproximadamente dois metros (1,98 m), e medindo a distância percorrida pelo peso entre os fotogramas 1 e 2, 0,50 m, calcula-se a velocidade inicial do lançamento: 15,0 m/s. Através da análise do fotograma 3, mediu-se geometricamente o ângulo, tendo o solo como referência, sendo o ângulo de lançamento de aproximadamente 37°. Utilizando um simulador, o alcance obtido teoricamente seria de 24,10 metros. Tendo em conta que o lançamento deste atleta teve como alcance real a distância de 22,54 metros, a diferença entre o valor real e o valor teórico foi de 1,56 metros, diferença bastante aceitável tendo em conta que a análise que foi feita ao lançamento é pouco rigorosa, e que as condições no dia do lançamento são diferentes das teóricas.

A altura do atleta e o alcance

Curiosamente, quando se observa a altura dos atletas de lançamento do peso, conclui-se que provavelmente não haverá nenhum atleta com menos do que 1,90 metros de altura. De facto, não é de descuidar a altura do atleta pois, curiosamente,

chega-se à conclusão que atletas com uma altura maior têm tendência a obter melhores resultados do que os atletas mais baixos.

Utilizando o programa '*lançamento com resistencia.exe*', mencionado na secção 'Programas informáticos para o efeito', foram feitos cálculos para estabelecer a relação entre a altura de ombro do atleta e o alcance máximo (para a mesma velocidade de lançamento e considerando o ângulo ideal para cada altura diferente, demonstrado na secção 'Análise do ângulo de lançamento para cada altura'):

Altura (m)	Alcance (m)
1,00	23,76
1,10	23,85
1,20	23,95
1,30	24,04
1,40	24,14
1,50	24,23
1,60	24,33
1,70	24,42
1,80	24,51
1,90	24,60
2,00	24,70

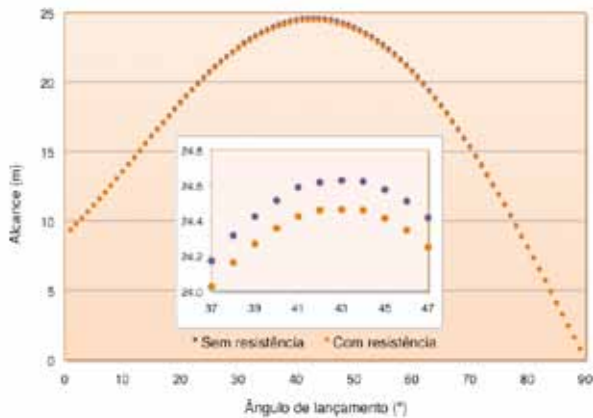
Mas como é que se explica esta diferença de alcance? Se a posição dos atletas em xx é exactamente igual, um projectil que seja lançado com uma altura superior terá um tempo de voo também ele superior, e essa pequena diferença no tempo provocará também uma diferença no alcance do projectil, constituindo um pormenor extremamente relevante.

Análise do melhor ângulo para o lançamento do peso
Considerando as condições obtidas na análise ao vídeo, procedeu-se à investigação de qual seria o melhor ângulo para o lançamento desse atleta, com e sem resistência do ar (utilizando o programa '*bestangle.exe*', também mencionado na secção 'Programas informáticos para o efeito', que permitiu a obtenção do alcance de um peso lançado por um atleta de 1,75 m, com a mesma velocidade inicial de 15 m/s, a diferentes ângulos):

O ângulo para o qual o alcance é maior é um ângulo de 43°. Contudo, tendo em conta a expressão apresentada ante-

Ângulo (°)	Com resistência do ar	Sem resistência do ar
47	24,248	24,414
46	24,345	24,509
45	24,412	24,574
44	24,458	24,620
43	24,463	24,628
42	24,459	24,614
41	24,423	24,588
40	24,356	24,513

riormente, o ângulo ideal seria de 45°. Porquê esta diferença? Ora, está a considerar-se uma altura de lançamento de 1,75 metros, e o ângulo de 45° seria sim o ideal se a altura de lançamento fosse ao nível do solo. Por outro lado, observa-se que existe, de facto, uma ligeira diferença entre os lançamentos no qual é considerada a força de resistência do ar e os que não a consideram. Para uma melhor análise e compreensão destes dados, procedeu-se ao traçado de dois gráficos (altura de ombro 1,75 m), a partir dos dados obtidos pelo mesmo programa, em que são comparados os alcances do peso (por um atleta de 1,75 m, a uma velocidade de 15 m/s), lançado a 90 ângulos diferentes (de 0 a 89 graus). Com estes dados é possível obter uma linha, cujo máximo se encontra nos 43°, com e sem resistência do ar (o gráfico pequeno inserido representa os resultados entre 37 e 47 graus, para maior clareza):



Optimização do ângulo de lançamento para cada altura

Na análise que foi feita, concluiu-se que, como a altura inicial não é a altura ao nível do solo, o valor do ângulo ideal não seria 45°. Mas qual será afinal o melhor ângulo para cada altura? E haverá alguma relação de proporcionalidade entre ângulo ideal e altura? Para responder a esta questão, usando programa 'bestangle.exe', testou-se qual o ângulo ideal para atletas com diferentes alturas, com uma velocidade de lançamento igual, a partir do qual se obteve a seguinte tabela: Analisando a tabela pode concluir-se que quanto mais alto for o atleta, menor será o ângulo ideal para o lançamento do peso. A que se deve este facto? Sendo a altura inicial superior, o projectil estará mais tempo no ar sem que seja necessário imprimir uma componente vertical da velocidade tão elevada (v_y) no momento de lançamento. Se o atleta não

Altura (m)	Ângulo ideal (°)
1,00	43,6
1,10	43,4
1,20	43,2
1,30	43,2
1,40	43,2
1,50	43,2
1,60	43,0
1,70	42,9
1,80	42,8
1,90	42,4
2,00	42,4

tem de imprimir uma velocidade vertical tão elevada, poderá otimizar a sua força para imprimir uma velocidade horizontal superior (v_x) que fará o alcance ser superior. Assim se explica que atletas mais altos obtenham melhores resultados e que o ângulo ideal de lançamento seja tanto menor quanto maior for a altura do atleta, pois este poderá imprimir uma velocidade horizontal superior ao projectil por já não necessitar de uma velocidade vertical tão elevada (diminuindo o ângulo de lançamento) [3] Desta forma, é possível alertar para a importância do pormenor de que, quando se fala de um ângulo ideal na ordem dos 45°, esses dados são para uma altura ao nível do solo, pois se a altura de lançamento for superior ao mesmo, o ângulo ideal irá variar, tendo de ser optimizado em função da tabela anterior.

Contudo, há outro pormenor que não pode deixar de ser referido. O atleta, ao imprimir uma força que provoque uma aceleração na componente vertical (a_y), vai ter que contrariar a força do peso, pelo que terá de gastar mais energia para aumentar a velocidade vertical. No entanto, para acelerar o peso na componente horizontal (a_x) ele não tem que contrariar a força gravítica, pelo que conseguirá mais facilmente atingir uma maior velocidade. Assim, na prática, os atletas conseguirão um maior rendimento da força aplicada sobre o peso se diminuírem um pouco mais o ângulo, para valores próximos de 35° [3], para além de que, sendo os atletas altos, a altura inicial será superior e, como já foi referido, não será necessária uma componente vertical de velocidade tão elevada, podendo o atleta focar-se na componente horizontal. Estes dois factores estão assim intrinsecamente ligados um ao outro.

Um aspecto a salientar é que os programas criados para este projecto (como o 'bestangle.exe') apenas têm em conta a velocidade com que o projectil é lançado, pelo que a variável da força imprimida pelo atleta não é tida em conta. Assim, os ângulos dados (aproximadamente 43°, segundo a tabela) serão superiores aos ângulos ideais reais pois a componente da força do atleta também adquire uma importância extrema.

Programas informáticos para o efeito

Uma das dificuldades encontradas durante a realização do projecto foi a de conjugar as expressões matemáticas da força de resistência do ar com as do movimento e da distância percorrida pelo peso. Tal deve-se ao facto de a resistência do ar e a velocidade se influenciarem mutuamente, alterando-se ao longo do tempo. Assim, apesar de ser possível calcular a velocidade e a força de resistência do ar para um determinado instante, tornou-se muito difícil definir com exactidão os valores da trajectória, ao longo do tempo de voo (tendo em conta o programa leccionado no ensino secundário).

Para se solucionar o problema, utilizou-se uma abordagem diferente: procedeu-se à criação de alguns programas informáticos, em linguagem C, para calcular a posição do peso a cada milissegundo do voo, assim como o valor das forças que actuam sobre ele em cada um desses instantes. Deste modo conseguiu-se uma simulação muito próxima da variação dos valores da resistência do ar e da velocidade do peso ao longo do tempo de voo do projectil. Os cálculos foram efectuados pelo computador da seguinte forma: num determinado instante do voo (como por exemplo o instante 0 ms - instante exacto em que o atleta larga a esfera), o programa, tendo os dados sobre o vector velocidade do corpo, calcula o valor da resistência do ar para esse mesmo instante (utilizando também os valores da massa volúmica do ar, do coeficiente aerodinâmico do corpo e da área da sua secção recta).

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} c\mu Av^2 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow ma &= \frac{1}{2} c\mu Av^2 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow a &= \frac{c\mu Av^2}{2m} \end{aligned}$$

A partir do valor obtido, e tendo também em conta a aceleração gravítica, calcula o módulo, direcção e sentido do vector aceleração aplicado ao corpo nesse momento.

Tendo os dados sobre a posição e sobre os vectores velocidade e aceleração, é calculada para o instante seguinte (1 ms, seguindo o exemplo): a posição, utilizando uma expressão do género $x=x_1+v_1t+0,5a_1t^2$ e a velocidade, segundo a expressão $v=v_1+at$.

Tendo obtido estes novos dados sobre a posição e a velocidade, o computador inicia um ciclo idêntico de cálculos, processando os dados para o instante seguinte (ex: 2 ms) e assim sucessivamente, até ao momento em que o corpo atinge o limite definido como o solo, terminando-se assim o ciclo de cálculos.

Deste modo, por se conseguirem realizar estes milhares de operações por segundo num computador de gama média, obtêm-se dados sobre o que seria a trajectória num lançamento real do peso, sob mesmas circunstâncias.

Utilizando este método de cálculo nos programas que foram criados, foi possível obter vários dados importantes para o projecto, através de quais se destacam, entre outros, o alcance (a partir do programa 'lançamento com resistencia.exe') e o ângulo ideal para o qual o atleta consegue otimizar a sua força (a partir do programa 'bestangle.exe').

Conclusões

O lançamento do peso, cujo recorde não é batido há vinte anos, é influenciado por uma série de forças, nomeadamente a força gravítica que actua no projectil e a força de resistência do ar (que neste caso específico não tem muita influência). Ao analisar os dados obtidos concluímos que a razão de os atletas desta modalidade serem sempre muito altos se relaciona com o facto de quanto mais alto for o atleta, maior o alcance do peso, com uma velocidade igual e um ângulo ideal que permite que o atleta aplique a sua força essencialmente no plano horizontal no qual é mais fácil imprimir aceleração ao projectil (sendo o atleta mais alto, a componente vertical da velocidade não terá de ser tão elevada).

Deste modo, o ângulo ideal, tendo em conta todos os factores, rondará os 35° para atletas mais altos, permitindo que a componente horizontal da velocidade seja superior, aumentando o alcance do projectil. Foram desta forma analisadas todas as componentes que influenciam o alcance do peso consoante a altura do atleta.

Através deste trabalho de investigação foi possível utilizar os conhecimentos teóricos sobre projecteis para um estudo aprofundado de uma situação real como é o lançamento do peso. Quem sabe se a razão de o recorde não ser batido há tanto tempo não está no pouco pensamento "físico" dos atletas?

Agradecimentos

Ao professor Rui Pedro Pinto, pela orientação deste projecto, à professora Teresa Tasso de Figueiredo e ao Externato Marista de Lisboa.

1. G. Ariel, "Biomechanical Analysis of the Shot-Put Event at the 2004 Athens Olympic Games". Institute for Biomechanical Research, Coto Research Center, California (2005).
2. V. Bankey, P. Hill e V. Langenheim, "Introduction to Potential Fields: Gravity." United States Geological Survey, Denver, Estados Unidos da América (1997).
3. McGinnis, "Biomechanics of Sport and Exercise". p. 71-74. Human Kinetics: Estados Unidos da América (1999).
4. R. Vajk, "Bouguer Corrections With Varying Surface Density". Standard Oil Company (N.J.), New York City (1956). In Geophysics - Volume 21, Issue 4.
5. Vídeo do lançamento: <http://www.youtube.com/watch?v=M5jpErXKvvg> YouTube®. Consultado em 2 de Dezembro de 2009.
6. História da modalidade: [http://www.infopedia.pt/\\$lançamento-do-peso](http://www.infopedia.pt/$lançamento-do-peso) - consultado em 5 de Dezembro de 2009.
7. IAAF - Recordes oficiais das modalidades de Atletismo, 2009, pág. 557.