



Home

Fundamentos

Análises

Vídeos/Imagens

História

Links

LOB

FUNDAMENTOS

Biomecânica do Salto em Distância

As técnicas utilizadas nos esportes estão sujeitas as mesmas leis físicas que governam todos os movimentos. Portanto, utilizando este conceito, a Biomecânica tem contribuído de forma decisiva na análise e melhora do desempenho do atleta nas provas de saltos.

O comportamento do centro de gravidade do atleta durante a fase do salto propriamente dito pode ser descrito como um lançamento oblíquo. Isto é, o movimento de um corpo quando lançado ao ar com um certo ângulo (entre 0 e 90 graus) com a horizontal (leia sobre lançamento oblíquo em <http://www.fisica.ufpb.br/prolicen/Cursos/Curso1/mr35lp.html>). Nesta condição, desprezando a resistência do ar, age apenas sobre o corpo a força da gravidade, ou força peso, na direção vertical e para baixo. É importante frisar que durante a fase de vôo do atleta, não há nenhuma força na direção horizontal atuando sobre ele. Este fato tem uma importante consequência sobre o movimento do atleta: durante a fase de vôo, o centro de gravidade do atleta move-se com velocidade constante. Isto é uma consequência direta das leis de movimento da mecânica enunciadas no século XVII pelo físico inglês Issac Newton (leia sobre as leis de Newton em <http://www.fisica.ufpb.br/prolicen/Cursos/Curso1/ln51int.html>). A primeira lei de Newton diz que "Todo corpo permanece em estado de repouso ou de movimento uniforme, em linha reta, a menos que uma força externa atue sobre ele". O fato de analisarmos o salto separadamente na direção vertical e direção horizontal é um outro importante princípio na Mecânica: os movimentos nas direções ortogonais, no caso horizontal e vertical, são independentes, no sentido que uma força que atua em apenas uma dessas direções não altera o movimento na direção perpendicular.

A seguir, nós deduziremos as equações de movimento do centro de gravidade do atleta para as direções horizontal (longitudinal, direção principal do movimento) e vertical durante o salto desprezando a resistência do ar. Considere que o atleta (na verdade um corpo pontual, pois estamos considerando apenas o centro de gravidade do atleta) no momento do salto têm uma velocidade inicial v_0 e um ângulo q (teta, letra grega) inicial com a horizontal. Pela trigonometria (revise conceitos básicos de trigonometria em <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/exatas/matematica/tc2000/mat40.pdf>), a velocidade horizontal, v_{0x} , desse corpo é:

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos(q)$$

E a velocidade vertical v_{0y} é:

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin(q)$$

Na direção horizontal (x) não há forças externas atuando sobre o corpo e a equação de movimento relacionado a posição e o tempo (t) para o corpo nesta direção é simplesmente:

$$x(t) = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

x_0 é a posição inicial do corpo na direção horizontal no momento do salto. No caso do atleta, x_0 representa a posição do centro de gravidade em relação à tábua. Substituindo v_{0x} na equação anterior, temos:

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot \cos(q) \cdot t$$

Na direção vertical (y) atua a força de gravidade e a equação de movimento relacionado a posição e o tempo (t) para o corpo nesta direção é dada por:

$$y(t) = y_0 + v_{0y} \cdot t + 1/2 \cdot g \cdot t^2$$

y_0 é a posição inicial do corpo na direção vertical (a altura do centro de gravidade no início do salto) e g é a aceleração da gravidade ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$). Substituindo v_{0y} na equação anterior, temos:

$$y(t) = y_0 + v_0 \cdot \sin(q) \cdot t + 1/2 \cdot g \cdot t^2$$

Estas são as duas equações de movimento para o corpo (uma para cada direção). A partir delas é possível deduzirmos algumas variáveis como distância horizontal do salto e altura vertical do salto, ângulo ótimo para a máxima distância horizontal, entre outras variáveis, como função apenas da velocidade inicial, ângulo do salto e posição inicial do centro de gravidade.

A altura do salto pode ser obtida a partir da equação de Torricelli, uma outra forma de expressar a equação de movimento:

$$v_y(t)^2 = v_{0y}^2 - 2gDy$$

Onde Dy é a variação da posição vertical do corpo e $v_y(t)$ é a velocidade do corpo no instante t . Substituindo v_{0y} temos:

$$v_y(t)^2 = (v_0 \cdot \text{sen}(q))^2 - 2 \cdot g \cdot Dy$$

No momento em que o corpo está mais alto, a velocidade vertical deste corpo é zero e então temos:

$$0 = (v_0 \cdot \text{sen}(q))^2 - 2 \cdot g \cdot (y_{\max} - y_0)$$

Rearranjando esta equação, temos que a altura máxima do salto é uma função da velocidade inicial, do ângulo do salto, da aceleração da gravidade e da posição vertical inicial:

$$y_{\max} = y_0 + \frac{(v_0 \cdot \text{sen}(\theta))^2}{2g}$$

Por exemplo, considerando-se números típicos para um salto, $y_0 = 1$ m, $q = 22$ graus, $v_0 = 10$ m/s (lembre que v_0 é a velocidade resultante, a velocidade horizontal neste caso é $v_{0x} = 9,3$ m/s), $g = 9,8$ m/s², a altura do salto é de 1,71 m.

A distância horizontal do salto pode ser conseguida se obtivermos o tempo total do salto e substituirmos este valor na equação de movimento horizontal. O tempo total do salto é dado pelo tempo de subida mais o tempo de descida, sendo que estes dois tempos são iguais. O tempo de subida pode ser obtido a partir da equação para a velocidade vertical do salto:

$$v_y(t) = v_{0y} - g \cdot t$$

Mais uma vez, a velocidade vertical no ponto mais alto é zero e a equação anterior fica (já substituindo v_{0y}):

$$0 = v_0 \cdot \text{sen}(q) - g \cdot t_{\text{subida}}$$

E t_{subida} é dado por:

$$t_{\text{subida}} = v_0 \cdot \text{sen}(q) / g$$

Sendo o tempo total, duas vezes este valor:

$$t_{\text{total}} = 2 \cdot v_0 \cdot \text{sen}(q) / g$$

Substituindo o tempo total na equação para a posição do corpo na direção horizontal ($x(t) = x_0 + v_0 \cdot \text{cos}(q) \cdot t$), temos:

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot \text{cos}(q) \cdot 2 \cdot v_0 \cdot \text{sen}(q) / g = x_0 + 2 \cdot v_0^2 \cdot \text{cos}(q) \cdot \text{sen}(q) / g$$

Da trigonometria, o produto $2 \cdot \text{cos}(q) \cdot \text{sen}(q)$ é $\text{sen}(2q)$, então a distância do salto é dada por:

$$x_{\text{salto}} = x_0 + \frac{v_0^2 \cdot \text{sen}(2\theta)}{g}$$

Para os mesmos dados do exemplo anterior ($y_0 = 1$ m, $q = 22$ graus, $v_0 = 10$ m/s (lembre que v_0 é a velocidade resultante, a velocidade horizontal neste caso é $v_{0x} = 9,3$ m/s), $g = 9,8$ m/s²) e considerando que o centro de gravidade estava à frente da tábua com $x_0 = 0,2$ m, a distância do salto é de 7,3 m.

As deduções acima não consideram que ao aterrissar, o atleta baixa seu centro de gravidade e ganha mais uma pequena distância no salto.

Neste links você pode encontrar programas para simular o lançamento oblíquo de um corpo (são programas escritos na linguagem Java, você pode ter que instalar alguns outros programas para rodar estes programas):

- <http://www.csm.ornl.gov/java/book/applets/Cannon/>
- <http://jersey.uoregon.edu/vlab/newCannon/nc1.html>
- http://www.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jarapplet.html

Salto em distância

O salto em distância tem sido objeto de diversos estudos na área da biomecânica do esporte na literatura internacional. Apesar de existirem atletas de nível competitivo internacional nas provas de saltos horizontais no país, existe certa carência de

estudos relacionados a performance destes indivíduos. Através do uso de câmeras buscou-se quantificar e analisar alguns parâmetros cinemáticos no intuito de fazer uma analogia com os dados da literatura e até mesmo entre os atletas analisados.

Os eventos de saltos no atletismo são o salto em distância, salto triplo, salto em altura e salto com vara; sendo o objetivo dos atletas que participam destas provas, o deslocamento máximo do centro de gravidade (CG) em uma dada direção. No salto em distância e no salto triplo é requerido o deslocamento horizontal; e no salto em altura e no salto com vara o deslocamento vertical do centro de gravidade (Hay, 1978) .

Alguns pré-requisitos básicos são necessários para um bom desempenho no salto em distância, como: velocidade, a posição corporal e a precisão do *takeoff* (Hay, 1978) . O resultado ideal do salto em distância depende, dentre outras variáveis, da capacidade do atleta em desenvolver alta velocidade no momento do *takeoff*. Quanto maior for a velocidade horizontal do centro de gravidade do atleta, no momento do *takeoff* na tábua, maior será a distância atingida no salto (Hay, Thorson *et al.*, 1999) .

Segundo Hay (1993) a distância efetiva do salto é a soma de três distâncias menores (Figura 1):

- a distância horizontal entre a borda frontal da tábua de impulsão e o CG do atleta no momento da saída (distância de impulsão-L1);
- a distância horizontal que o CG viaja enquanto o atleta está no ar (distância de vôo-L2);
- a distância horizontal entre o CG no instante que o calcanhar toca a areia e a marca efetiva do salto (distância de aterrissagem-L3).

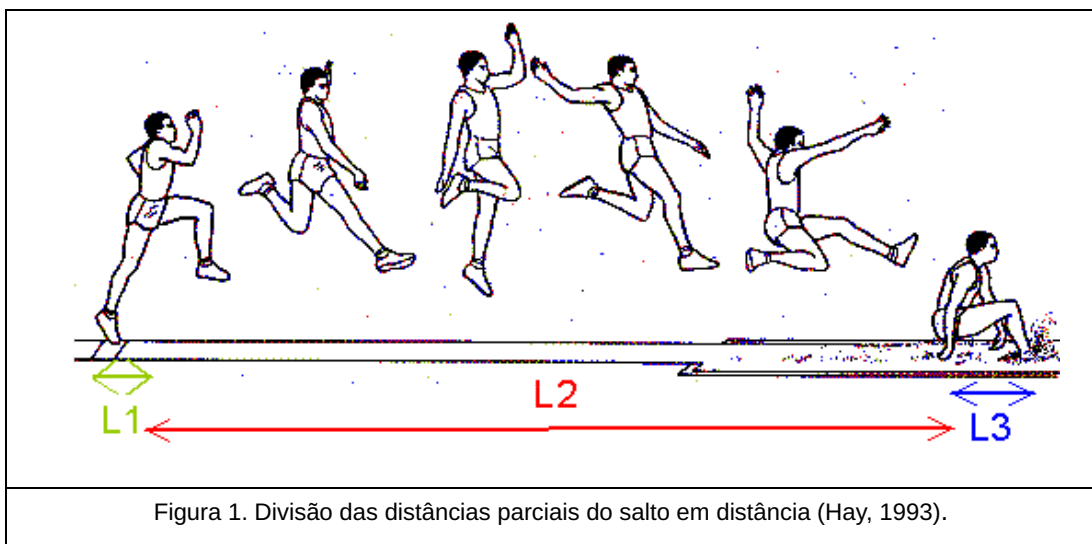


Figura 1. Divisão das distâncias parciais do salto em distância (Hay, 1993).

Cada uma destas distâncias influenciam de alguma forma a distância efetiva do salto, como demonstrado no modelo determinístico proposto por (Hay, 1978) (Figura 1).

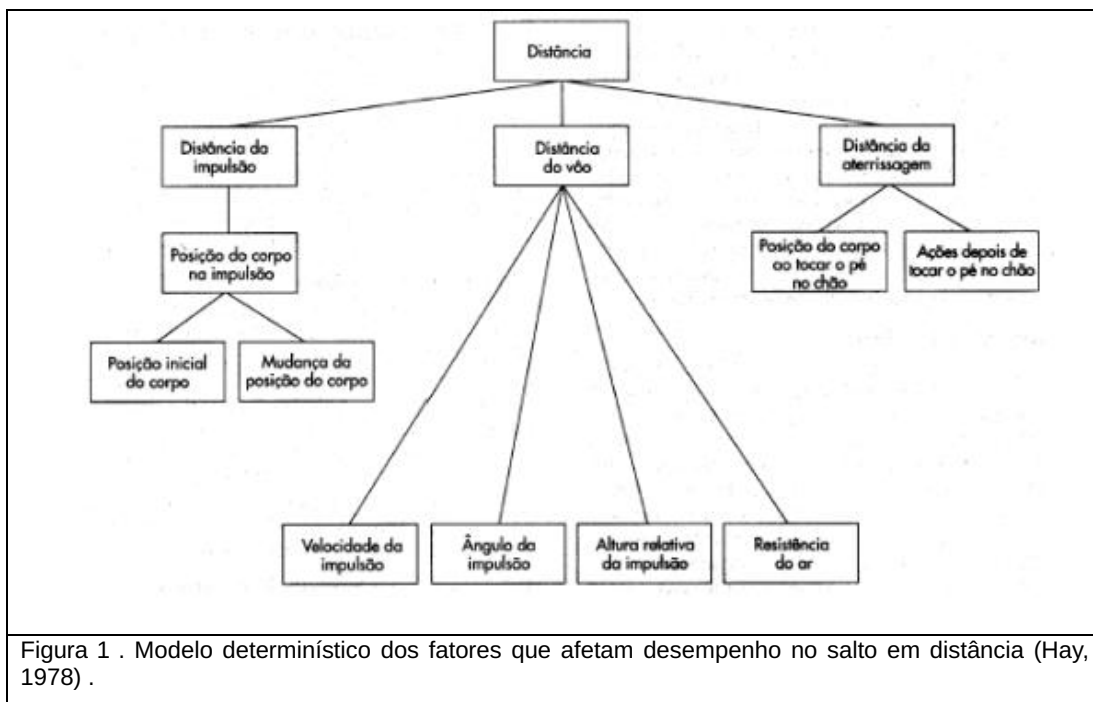


Figura 1 . Modelo determinístico dos fatores que afetam desempenho no salto em distância (Hay, 1978) .

Fases do Salto

Didaticamente, o salto em distância pode ser dividido em quatro partes consecutivas. A corrida de abordagem consiste do momento que o atleta inicia o movimento em direção a tábua de impulsão até o instante do último toque do pé de *takeoff* no solo (*touchdown*). O *takeoff* compreende o instante deste último toque (*touchdown*) até a perda de contato do pé de apoio com o solo (instante do *takeoff*). A fase de vôo consiste o instante da perda de contato do pé de apoio com a tábua de impulsão (instante do *takeoff*) até o primeiro contato do corpo do atleta com a areia da caixa. Sendo que a aterrissagem inicia-se com este primeiro contato até o repouso do CG do atleta (Hay, 1978) .

Corrida de Abordagem

A corrida de abordagem consiste de uma corrida em torno de 40 a 45 metros ou de 17 a 23 passadas antes do contato com a tábua de impulsão. Esta corrida tem a função de proporcionar ao atleta uma posição ótima para o contato com a tábua (Hay, 1978). Durante a corrida, os músculos possuem duas funções essenciais: acelerar o corpo na direção horizontal e agir contra a força da gravidade atuante na direção vertical (Wiemann and Tidow 1995). Momentos antes do contato com a tábua o atleta realiza uma série de ajustes no intuito de encontrar uma posição ótima para o salto (Hay, 1978) .

A simples alteração súbita ou não programada na frequência e amplitude nos passos da corrida, a fim de atingir com maior precisão a tábua de impulsão pode levar o atleta às lesões musculares, principalmente localizadas na musculatura isquiotibial durante a fase de contração excêntrica (Lees, Fowler *et al.*, 1993) .

Takeoff

A transição entre a corrida de abordagem e o *takeoff* é a parte que mais influencia na técnica do salto em distância (Hay 1993). O *takeoff* normalmente é realizado em uma tábua de 20 centímetros de largura enterrada no solo ao nível da pista. Para efeito de padronização definimos o termo *takeoff* como a transição entre a corrida de abordagem e o início do vôo como proposto por (Hay, 1986). Durante o *takeoff* ocorre uma perda de velocidade horizontal e um ganho progressivo de velocidade vertical do CG. Não só a perda de velocidade horizontal é importante como torna-se impossível completar um bom salto sem a perda parcial desta velocidade (Hay, 1986).

A redução da velocidade horizontal no momento do impulso depende primariamente da duração e magnitude do retardo, ou seja, o tempo e a intensidade das forças do pé no solo; quanto maior for a velocidade de aproximação do atleta, e menor for o tempo de *takeoff*, maior será a distância do salto (Hay, Thorson *et al.*, 1999) .

Durante o contato inicial com a tábua há uma grande atuação de forças, na ordem de 7160N a 11770 Newtons ou 11,1 a 16,4 vezes o peso corporal (Hay 1993). Observou-se grande atividade muscular da perna de impulsão durante este período, principalmente dos músculos extensores do joelho. Inicialmente há uma ação excêntrica destes músculos e, conseqüentemente o quadril, joelho e tornozelo ipsilateral encontram-se em flexão, no intuito de absorver o choque inicial e também armazenar energia elástica que produzirá uma ação concêntrica muscular mais produtiva (Lees, Fowler *et al.*, 1993).

Durante o *takeoff* o CG do atleta é deslocado horizontalmente e verticalmente, sendo relatados deslocamentos de 80-95 cm na horizontal e de 17-18 cm na vertical (Hay, 1986). Já a altura do CG no instante do *takeoff* segundo um estudo está em torno de 1,11-1,26 m (Hay e Miller, 1985).

No salto em distância, onde o atleta desenvolve grande velocidade durante a corrida de abordagem, ao realizar o *takeoff* a velocidade horizontal desenvolvida pelo atleta durante a corrida de aproximação é reduzida na ordem de 9,5% a 17%. Essa diminuição se faz necessária para que ocorra um aumento da velocidade vertical e a elevação do centro de gravidade do atleta (Witters, Bohets *et al.*, 1992). Sendo que a redução da velocidade horizontal é mais pronunciada quando o ângulo de projeção CG e a altura do salto são aumentados (Hay, 1986). Índícios apontam uma alta relação entre a magnitude da diminuição na velocidade horizontal e o aumento na velocidade vertical durante o *takeoff*. Observaram-se relações entre as velocidades horizontal e vertical na ordem de 2:1 a 3:1 durante o *takeoff*, e ângulos de projeção de 26,6° e 18,4° respectivamente (Hay, 1986).

A literatura demonstra que o trecho que mais influencia o resultado final do salto é a distância de vôo do CG (L2) (Hay, 1986; Hay, 1988). A distância de vôo é determinada pela velocidade, ângulo de projeção e altura relativa do CG no instante do *take off*, além da resistência do ar encontrada durante o vôo, variáveis essas que determinam a trajetória de qualquer projétil (Hay, 1986). Uma combinação da velocidade horizontal (V_x) desenvolvida na corrida e a velocidade vertical (V_y) adquirida no *take off* determinam o ângulo de projeção do CG (Hay e Koh, 1988).

O conhecimento destas variáveis torna-se imprescindível para a análise quantitativa do salto em distância, portanto será empregada metodologia que possibilite a descoberta destas variáveis. A metodologia proposta para este estudo será demonstrada mais à frente.

Vôo

Uma vez livre no ar, desprezando-se a resistência deste, não há nada que se possa fazer para modificar a trajetória do CG. No entanto, é possível controlar rotações indesejadas, buscando um melhor posicionamento para a aterrissagem. Existem basicamente 3 técnicas de vôo atualmente: a técnica de "sail", a técnica de "hang", e a técnica de "hitchkick" ou também chamada de corrida no ar (Hay, Thorson *et al.*, 1999).

Na técnica de “*sail*” o atleta traz ambas as pernas simultaneamente a frente após a saída da tábua e permanece o restante do voo na posição sentada, com os quadris flexionados e os joelhos estendidos. É uma técnica primitiva que é muito utilizada de maneira natural, entretanto devido a sua simplicidade ela é pouco eficaz para controlar as rotações e posicionar adequadamente o corpo para a aterrissagem (Hay, 1986).

Um pouco mais sofisticada, a técnica de “*hang*” utiliza o deslocamento da perna de balanço a frente logo após o *takeoff* e posteriormente esta mesma perna realiza o movimento de varrer para baixo e para trás até que as duas pernas se alinhem. Esse movimento da perna de balanço provoca uma ação contrária do tronco e do membro superior para conter certas rotações indesejáveis. Esses movimentos antagônicos são interrompidos até que os braços encontrem-se alinhados acima da cabeça e ao mesmo tempo os joelhos aparecem flexionados na preparação para a queda (Hay, Thorson *et al.*, 1999).

A técnica de corrida no ar é a forma mais complexa de voo utilizada pelos atletas de elite. Além disso apresenta algumas variações, sendo nomeada de acordo com o número de passadas executadas durante o voo. Contudo, a primeira parte desta técnica se assemelha com a técnica de *hang*, onde a perna de balanço é levada a frente com o joelho em extensão, para posteriormente fazer o movimento de varrer para baixo e para trás, enquanto a perna de *takeoff* encontra-se em flexão de joelho com o calcanhar passando próximo a nádega (Hay, 1978). Utilizar uma ou outra técnica de voo tem como objetivo atingir a melhor distância do salto, realizando movimentos dentro de uma eficiência biomecânica, a fim de que o atleta assuma uma posição ideal para a aterrissagem (Herzog, 1986).

Aterrissagem

Durante a aterrissagem, um fator fundamental é a inclinação do tronco do atleta no momento do contato com a caixa de areia. A posição mais adequada de queda é com ligeira flexão do tronco, pois este procedimento aumentaria o tempo de voo, diminuindo a possibilidade do atleta cair para trás (Hay, 1978). A aterrissagem ótima é caracterizada pela máxima distância de aterrissagem atingida pelo atleta e a mínima perda dessa mesma distância (Herzog, 1986). A posição corporal aliada a técnica empregada, pode promover uma perda significativa do comprimento do salto, como ocorre quando o atleta toca com as mãos a areia durante a aterrissagem.

Cinemetria

Cinemática envolve a descrição do movimento independente das forças que causam estes movimentos. O movimento pode ser descrito em termos espaciais e temporais, sendo que esta descrição pode ser feita com a utilização de goniômetros, acelerômetros, filmagens ou equipamentos optoeletrônicos (Winter, 1990).

A cinemetria é um conjunto de métodos que busca medir os parâmetros cinemáticos do movimento, isto é, posição, orientação, velocidade e aceleração. Devido à complexidade que envolve o movimento humano, o único sistema que possibilita a captura de todos os dados é um sistema de imagem. O instrumento básico para medidas cinemáticas é o baseado em câmeras de vídeo que registram a imagem do movimento e então através de software específico calcula-se as variáveis cinemáticas de interesse (Winter, 1990). Neste projeto, a cinemetria será utilizada para registrar a cinemática planar do movimento da cabeça, tronco e membros dos sujeitos durante as atividades selecionadas.

[Home](#) | [Fundamentos](#) | [Análises](#) | [Vídeos/Imagens](#) | [História](#) | [Links](#)