

Caderno
de Referência

Esporte



Biomecânica do movimento humano

Brasil
Vale
Ouro

FUNDAÇÃO VALE





Biomecânica do movimento humano

Brasília, 2013

© 2013 Fundação Vale.
Todos os direitos reservados.

Coordenação: Setor de Ciências Humanas e Sociais da Representação da UNESCO no Brasil
Redação: Márcio Vianna Prudêncio, Clodoaldo Lopes do Carmo e Ronaldo Dias
Organização: Luciana Marotto Homrich
Revisão técnica: Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga
Revisão pedagógica: MD Consultoria Pedagógica, Educação e Desenvolvimento Humano
Revisão editorial: Unidade de Publicações da Representação da UNESCO no Brasil
Ilustração: Rodrigo Vinhas Fonseca
Projeto gráfico: Crama Design Estratégico
Diagramação: Unidade de Comunicação Visual da Representação da UNESCO no Brasil

Biomecânica do movimento humano. – Brasília: Fundação Vale, UNESCO, 2013.

36 p. – (Cadernos de referência de esporte; 9).

ISBN: 978-85-7652-163-1

1. Educação física 2. Biomecânica 3. Esporte 4. Fisiologia humana 5. Expressão corporal 6. Brasil 7. Material didático I. Fundação Vale II. UNESCO

Esta publicação tem a cooperação da UNESCO no âmbito do projeto 570BRZ3002, Formando Capacidades e Promovendo o Desenvolvimento Territorial Integrado, o qual tem o objetivo de contribuir para a melhoria da qualidade de vida de jovens e comunidades.

Os autores são responsáveis pela escolha e apresentação dos fatos contidos neste livro, bem como pelas opiniões nele expressas, que não são necessariamente as da UNESCO, nem comprometem a Organização. As indicações de nomes e a apresentação do material ao longo desta publicação não implicam a manifestação de qualquer opinião por parte da UNESCO a respeito da condição jurídica de qualquer país, território, cidade, região ou de suas autoridades, tampouco da delimitação de suas fronteiras ou limites.

Esclarecimento: a UNESCO mantém, no cerne de suas prioridades, a promoção da igualdade de gênero, em todas as atividades e ações. Devido à especificidade da língua portuguesa, adotam-se, nesta publicação, os termos no gênero masculino, para facilitar a leitura, considerando as inúmeras menções ao longo do texto. Assim, embora alguns termos sejam grafados no masculino, eles referem-se igualmente ao gênero feminino.

FUNDAÇÃO VALE



Fundação Vale

Av. Graça Aranha, 26 – 16º andar – Centro
20030-900 – Rio de Janeiro/RJ – Brasil
Tel.: (55 21) 3814-4477
Site: www.fundacaovale.org

Representação da UNESCO no Brasil

SAUS Qd. 5, Bl. H, Lote 6,
Ed. CNPq/IBICT/UNESCO, 9º andar
70070-912 – Brasília/DF – Brasil
Tel.: (55 61) 2106-3500
Fax: (55 61) 3322-4261
Site: www.unesco.org/brasilia
E-mail: grupoeditorial@unesco.org.br
[facebook.com/unesconarede](https://www.facebook.com/unesconarede)
twitter: @unesco brasil

Cadernos de referência de esporte
Volume 9

Biomecânica do movimento humano

FUNDAÇÃO VALE



Prefácio	7
1. Introdução	8
2. Tipos de movimentos	10
3. Velocidade e aceleração	13
3.1. Velocidade	13
3.2. Aceleração	15
4. Leis de Newton	17
4.1. A primeira lei do movimento de Newton: lei da inércia	17
4.2. A segunda lei do movimento de Newton: massa e aceleração	18
4.3. A terceira lei do movimento de Newton: ação e reação	19
5. Cinemática da corrida	21
6. Biomecânica do nado	25
6.1. Forças resistivas (arrasto)	26
6.1.1. Resistência de arrasto	26
6.1.2. Resistência de onda	29
6.1.3. Resistência por fricção	29
6.2. Forças propulsivas	29
7. Considerações finais	33
Bibliografia	35

Prefácio

O Programa de Esportes da Fundação Vale, intitulado Brasil Vale Ouro, busca promover o esporte como um fator de inclusão social de crianças e adolescentes, incentivando a formação cidadã, o desenvolvimento humano e a disseminação de uma cultura esportiva nas comunidades. O reconhecimento do direito e a garantia do acesso da população à prática esportiva fazem do Programa Brasil Vale Ouro uma oportunidade, muitas vezes ímpar, de vivência, de iniciação e de aprimoramento esportivo.

É com o objetivo de garantir a qualidade das atividades esportivas oferecidas que a Fundação Vale realiza a formação continuada dos profissionais envolvidos no Programa, de maneira que os educadores sintam-se cada vez mais seguros para proporcionar experiências significativas ao desenvolvimento integral das crianças e dos adolescentes. O objetivo deste material pedagógico consiste em orientar esses profissionais para a abordagem de temáticas consideradas essenciais à prática do esporte. Nesse sentido, esta série colabora para a construção de padrões conceituais, operacionais e metodológicos que orientem a prática pedagógica dos profissionais do Programa, onde quer que se encontrem.

Este caderno, intitulado “Biomecânica do movimento humano”, integra a Série Esporte da Fundação Vale, composta por 12 publicações que fundamentam a prática pedagógica do Programa, assim como registram e sistematizam a experiência acumulada nos últimos quatro anos, no documento da “Proposta pedagógica” do Brasil Vale Ouro.

Composta de informações e temas escolhidos para respaldar o Programa Brasil Vale Ouro, a Série Esporte da Fundação Vale foi elaborada no contexto do acordo de cooperação assinado entre a Fundação Vale e a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) no Brasil. A série contou com a participação e o envolvimento de mais de 50 especialistas da área do esporte, entre autores, revisores técnicos e organizadores, o que enriqueceu o material, refletindo o conhecimento e a experiência vivenciada por cada um e pelo conjunto das diferenças identificadas.

Portanto, tão rica quanto os conceitos apresentados neste caderno será a capacidade dos profissionais, especialistas, formadores e supervisores do Programa, que atuam nos territórios, de recriar a dimensão proposta com base nas suas próprias realidades.

Cabe destacar que a Fundação Vale não pretende esgotar o assunto pertinente a cada um dos cadernos, mas sim permitir aos leitores e curiosos que explorem e se aprofundem nas temáticas abordadas, por meio da bibliografia apresentada, bem como por meio do processo de capacitação e de formação continuada, orientado pelas assessorias especializadas de esporte. Em complemento a esse processo, pretende-se permitir a aplicação das competências, dos conteúdos e dos conhecimentos abordados no âmbito dos cadernos por meio de supervisão especializada, oferecida mensalmente.

Ao apresentar esta coletânea, a Fundação Vale e a UNESCO esperam auxiliar e engajar os profissionais de esporte em uma proposta educativa que estimule a reflexão sobre a prática esportiva e colabore para que as vivências, independentemente da modalidade esportiva, favoreçam a qualidade de vida e o bem-estar social.

Fundação Vale

Representação da UNESCO no Brasil

1. Introdução

A biomecânica está presente em todos os movimentos do ser humano: o comprimento da passada quando se caminha, a angulação dos movimentos ao se alongar; ou seja, vai desde o simples gesto de levar o garfo com comida à boca, na hora do almoço, até a disputa de uma medalha olímpica no salto com vara. Com isso, a biomecânica visa, por meio dos conceitos da física clássica, a analisar e compreender os complexos movimentos do corpo humano.

Como a biomecânica oferece diferentes formas de análise para diferentes objetivos (esportes, medicina, engenharia, computação, entre outros), diferentes autores são ora divergentes, ora complementares, ao descrever seu foco de estudo. Hay (1976), Brüggemann et al. (1991) e Amadio (1989, 1996), citados por Amadio (2000) e Okuno (2003), entre outros, indicam que a biomecânica é a ciência responsável pelas mais diversas formas de análise do movimento humano.

Sendo assim, Amadio e Serrão (2007) afirmam que a biomecânica é a ciência, derivada das ciências naturais, que se ocupa das análises físicas de sistemas biológicos.

Na biomecânica, por meio de suas diferentes metodologias de análise (antropometria, cinemática, dinamometria, simulação computacional, modelamento muscular e eletrofisiologia), o principal objetivo é estudar os padrões de movimentos esportivos, procurando otimizar o processo de aprendizado e os resultados, bem como diminuir os riscos de lesões. Em complemento, Amadio e Serrão (2007) indicam como objetos de estudo da biomecânica o esporte de alto nível, o esporte escolar e as atividades de recreação, de forma a atuar na prevenção e na reabilitação orientadas à saúde e às atividades do cotidiano e do trabalho das pessoas.

Por meio da fundamentação teórica, do conhecimento das capacidades e das habilidades do atleta, bem como da observação e da mensuração de diferentes variáveis biomecânicas, profissionais conseguem diferenciar as características técnicas de uma determinada modalidade, do estilo e da vivência motora do atleta, realizando assim correções de possíveis erros e adaptações dessas técnicas à realidade de seus atletas, independentemente da categoria.

Em contrapartida, a ausência de fundamentação teórica, o desconhecimento das características dos atletas e a falta de observação e de mensuração das variáveis biomecânicas, podem levar o profissional a utilizar uma determinada técnica esportiva empregada em níveis mais avançados que não é e não poderia ser a mais adequada às vivências físicas e/ou motoras dos seus alunos ou atletas.

Cabe aqui a seguinte pergunta: como o professor ou treinador pode melhorar sua capacidade de escolha das atividades técnicas para seu aluno e, da mesma forma, identificar as causas dos erros apresentados na sua prática ou vivência? Para respondê-la, é necessário que o professor ou treinador compreenda as forças internas que, por meio das contrações musculares, produzem o movimento, bem como as forças externas que interferem diretamente em cada um dos movimentos executados (como a ação da gravidade, o atrito com o solo ou mesmo a ação da resistência do ar) para que, a partir daí, possa analisá-las e proceder às intervenções necessárias.

Por meio dessas considerações, o presente caderno visa a apresentar alguns dos principais conceitos da biomecânica são utilizados em diferentes modalidades esportivas, uma vez que os conceitos dessa disciplina são oriundos das leis da física e possibilitam sua aplicação em uma enorme gama dessas modalidades, bem como nas atividades cotidianas dos alunos.

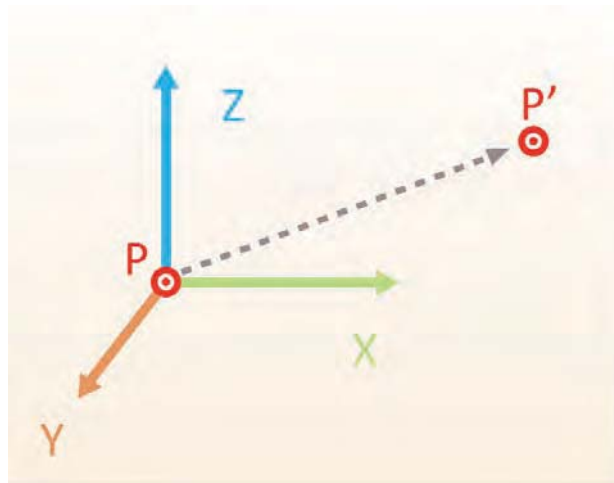
Por fim, em conjunto com os demais cadernos e temas de referência desta série, pretende-se aprofundar e contextualizar o movimento humano como objeto principal de estudo, em prol do desenvolvimento humano no âmbito do Programa Brasil Vale Ouro.

2. Tipos de movimentos

Quanto à sua forma de execução, os movimentos podem ser divididos em: lineares ou de translação, angulares ou de rotação, e combinados (mistos) ou gerais.

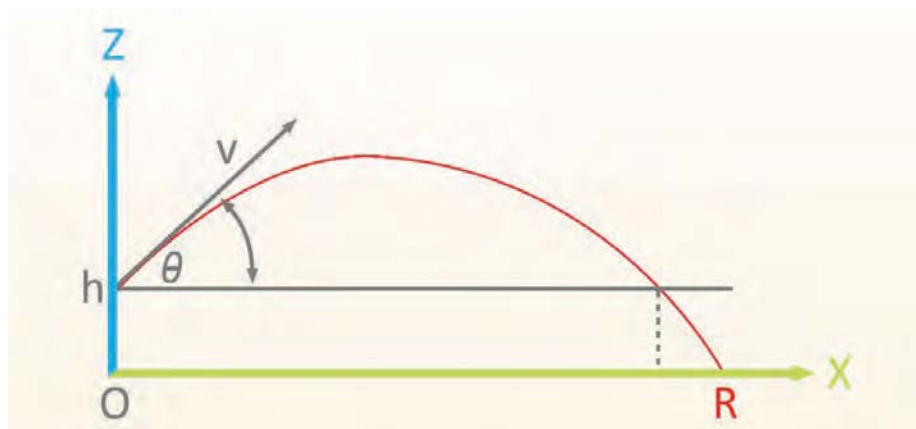
O *movimento linear* ou *de translação* ocorre quando todos os pontos do corpo movem-se na mesma distância ou direção, ao mesmo tempo. A aplicação de uma força no centro de massa de um corpo de qualquer dimensão faz todos os pontos desse objeto se deslocarem na mesma direção e magnitude, constituindo o movimento de translação. Ele pode ser *linear retilíneo* (quando a direção não é modificada) ou *curvilíneo* (quando a direção muda constantemente), conforme demonstrado nas Figuras 1a e 1b, a seguir.

Figura 1a.
Movimento linear retilíneo



Fonte: PRUDÊNCIO, 2010.

Figura 1b.
Movimento curvilíneo



Fonte: Adaptado de LICHTENBERG e WILLS, 1978.

Os *movimentos angulares* ou *de rotação* são aqueles nos quais os pontos se movem em linhas circulares ao redor de um eixo, conhecido como *eixo de rotação*, conforme demonstrado nas Figuras 2a e 2b, a seguir.

Figura 2a.

Atleta realizando um salto mortal em seu eixo de rotação sagital¹



Fonte: Adaptado de HAMILL et al., 1999.

Figura 2b.

Técnica do lançamento do martelo (rotação em torno do eixo longitudinal)



Fonte: Adaptado de IAAF, 2009.

Na maioria das atividades humanas, os movimentos são realizados por meio de uma combinação das duas formas de movimento (de translação e de rotação), e podem ser tratados como movimentos *gerais*, ou *combinados*. Quando observado no plano sagital² ou lateralmente, durante atividades de deslocamento que não apresentam uma fase aérea, como o caminhar ou mesmo a marcha atlética, o centro de massa (CM)³ do indivíduo apresenta um deslocamento que pode ser considerado linear (Figura 3a).

¹ *Eixo de rotação sagital* é o eixo, material ou não, ao redor do qual são realizados os movimentos de um corpo ou de partes desse corpo. No modelo corporal, existem basicamente três eixos: o *eixo laterolateral* (movimentos de flexão, extensão e inclinações anteroposteriores); o *eixo anteroposterior* (movimentos de abdução, adução e inclinações laterais) e o *eixo longitudinal* (movimentos de rotação lateral e medial).

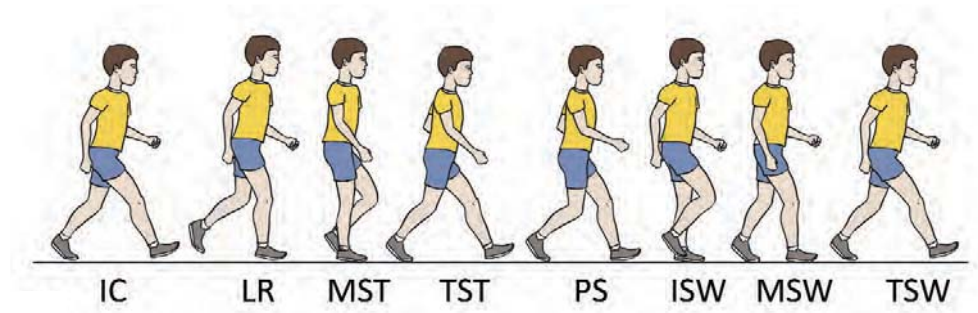
² *Plano sagital* é o plano imaginário que divide o corpo em duas metades simétricas (esquerda e direita). Os movimentos que ocorrem nesse plano são basicamente os de flexão e de extensão.

³ O *centro de massa* é o ponto no qual toda a massa de um, ou de diversos corpos, está concentrada. Para efeito de diferentes cálculos e sob certas circunstâncias, o centro de massa pode não coincidir com o centro geométrico do corpo, ou mesmo nem estar contido no corpo.

Porém, esse padrão de deslocamento do CM é produzido pelos movimentos de rotação das articulações do quadril, do joelho e do tornozelo (Figura 3b).

Outro exemplo vem das provas adaptadas (ou paraolímpicas): ao se observar, também no plano sagital, um atleta cadeirante se deslocando, vê-se que todas as articulações de seus braços, bem como as rodas da cadeira, executam movimentos rotacionais, e, ainda assim, a cadeira do atleta se desloca de forma linear (Figura 3c).

Figura 3a.
Movimento retilíneo do CM do atleta durante a marcha



Legenda: IC = contato inicial; LR = resposta de carga; MST = fase média; TST = fase final; PS = pré-"balanço"; IS = início do "balanço"; MSW = "balanço" médio; TSW = "balanço" final.

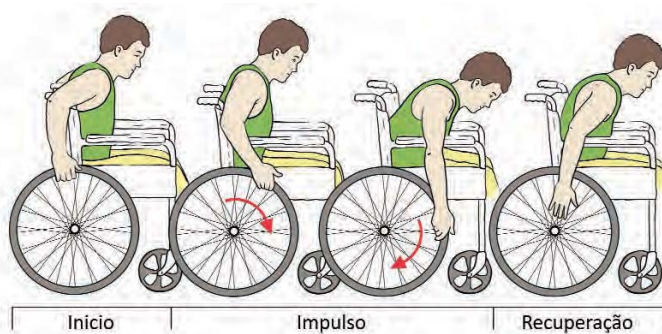
Fonte: Adaptado de NOVACHEK, 1998.

Figura 3b.
Representação dos movimentos de rotação articular e deslocamento linear



Fonte: Adaptado de HAMILL et al., 1999.

Figura 3c.
Exemplo de movimento geral em um cadeirante (rotação e translação)



Fonte: Adaptado de HAMILL et al., 1999.

3. Velocidade e aceleração

3.1. Velocidade

Independentemente da modalidade esportiva (se individual ou coletiva), pode-se claramente perceber que alguns atletas são mais velozes do que outros, da mesma forma que a capacidade de realizar esforços submáximos durante longos períodos de tempo parece ser inerente a alguns indivíduos.

Nas modalidades em que um mesmo gesto motor se repete ao longo do tempo, ou nas modalidades ditas cíclicas (corridas rasas, ciclismo, natação), frequentemente a velocidade a ser medida é a velocidade média do indivíduo.

Ao se avaliar a velocidade média de um indivíduo, determina-se o quanto esse corpo se move em um determinado período de tempo; por exemplo, dado um velocista que corre 100 metros em 10 segundos, a velocidade da corrida é determinada pela divisão da distância percorrida (100m) pelo tempo que o atleta levou para percorrer a prova (10s). Nesse exemplo, dividindo-se os 100 metros de corrida por 10 segundos, é possível concluir que a velocidade média do atleta foi de 10 metros por segundo (m/s).

$$\text{Velocidade média} = \frac{100\text{m}}{10\text{s}} = 10\text{m/s}$$

Em modalidades como a natação, o atletismo ou o ciclismo – provas que têm distâncias fixas a ser percorridas por todos os participantes – é simples comparar e determinar suas velocidades médias, como no caso de dois nadadores que realizam a prova dos 800 metros: se um completa a prova em 8,30 minutos, e o outro em 8 minutos, é evidente que o segundo atleta foi mais rápido do que o outro.

Para se saber a velocidade média de cada um dos atletas, como já indicado, basta dividir a distância percorrida pelo tempo necessário para percorrê-la. Sendo assim, a fórmula que determina a velocidade é representada por:

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Legenda:

V = velocidade

Δs = variação da distância ou distância percorrida

Δt = variação do tempo ou tempo de prova

Nas modalidades anteriormente citadas, é bastante comum mensurar a velocidade dos alunos ou atletas somente em determinados trechos da corrida, determinando, assim, sua velocidade média em diferentes momentos da prova, como demonstrado na Tabela 1, que indica a velocidade média, a cada 10 metros, do campeão mundial velocista nos Jogos Olímpicos de Pequim de 2008.

Tabela 1.

Representação das parciais da velocidade média do campeão olímpico na final dos 100m rasos em cada trecho de 10m, nos Jogos Olímpicos de Pequim, 2008

Distância percorrida (m)	Velocidade média (m/s)
10m (p1)	5,40
10m (p2)	9,80
10m (p3)	10,98
10m (p4)	11,49
10m (p5)	11,76
10m (p6)	12,19
10m (p7)	12,19
10m (p8)	12,19
10m (p9)	12,04
10m (p10)	11,11

Fonte: PRUDÊNCIO, 2010.

Tal medida traz importantes contribuições para os professores ou treinadores, pois, por meio dessas informações, pode-se observar e determinar os trechos nos quais o aluno ou atleta reduz sua velocidade e, a com base nisso, realizar as correções necessárias dentro das atividades de treinamento.

Nessa mesma lógica, em algumas situações esportivas, como os saltos em geral, uma largada na natação e os lançamentos, faz-se necessário que o treinador conheça a velocidade do atleta em diferentes momentos das provas, assim como durante o deslocamento nas diferentes fases da corrida de aproximação. Para isso, o cálculo da velocidade, indicado anteriormente, é o mesmo utilizado para a análise das corridas, da natação ou do ciclismo.

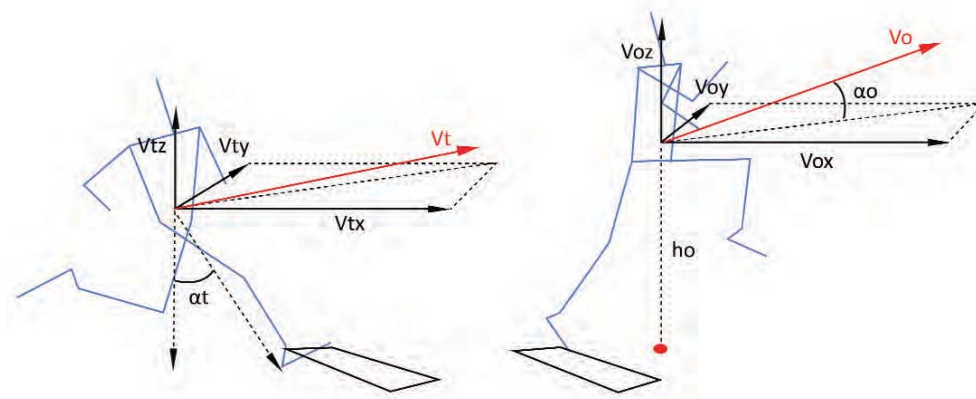
A velocidade pode ainda ser subdividida em *velocidade de reação* (representada pelo tempo entre um estímulo e a ação do atleta), *velocidade gestual ou acíclica* (representada por um único movimento do atleta, como, por exemplo, a cobrança de lateral, a cortada no voleibol ou o lançamento de dardo no atletismo) e *velocidade de deslocamento ou cíclica* (que compreende a velocidade que o atleta desenvolve em uma determinada distância).

Ainda nas modalidades conhecidas como acíclicas ou mistas, faz-se necessário o conhecimento da velocidade em momentos que são determinantes para o sucesso da atividade, como no instante em que o atleta toca o pé de apoio para saltar ou lançar (*velocidade de entrada*), no instante em que o pé de apoio do atleta deixa o solo ou a velocidade do implemento⁴ no instante do lançamento (*velocidade de saída*), ou mesmo no momento da largada em uma prova de natação.

⁴ *Implementos são todos os objetos das provas de lançamento (dardo, disco, peso e martelo).*

Para esses instantes, é necessário que se defina não somente o cálculo da magnitude da velocidade em períodos muito curtos de tempo, como também a direção e o sentido do CM do atleta ou do implemento. Sendo assim, o cálculo da *velocidade vetorial instantânea*⁵ é o ponto-chave nas análises biomecânicas, conforme demonstrado na Figura 4, a seguir.

Figura 4.
Representação dos vetores velocidade no instante em que o atleta toca o solo para o salto em distância



Legenda: V_{tx} , V_{ty} , V_{tz} = componentes do vetor velocidade nos eixos horizontal, laterolateral e vertical, respectivamente, no instante de contato do pé do atleta com o solo ou *touchdown* (TD); V_{ox} , V_{oy} e V_{oz} = componentes do vetor velocidade nos eixos horizontal, laterolateral e vertical no instante em que o pé do atleta deixa o solo ou *take-off* (TO); V_t e V_o = vetor velocidade no *touchdown* e no *take-off*, respectivamente; t = ângulo entre a linha vertical de projeção do centro de massa e a linha entre o CM até o ponto do calcâneo; 0 = ângulo entre o vetor velocidade do CM e o plano horizontal.

Fonte: Adaptado de BARROS et al., 2007.

3.2. Aceleração

Em todas as modalidades esportivas, independentemente da distância percorrida, a velocidade média do atleta varia ao longo do percurso. Nesses casos, essa variação indica a aceleração do atleta ou, tecnicamente falando, a *variação da velocidade em função do tempo*.

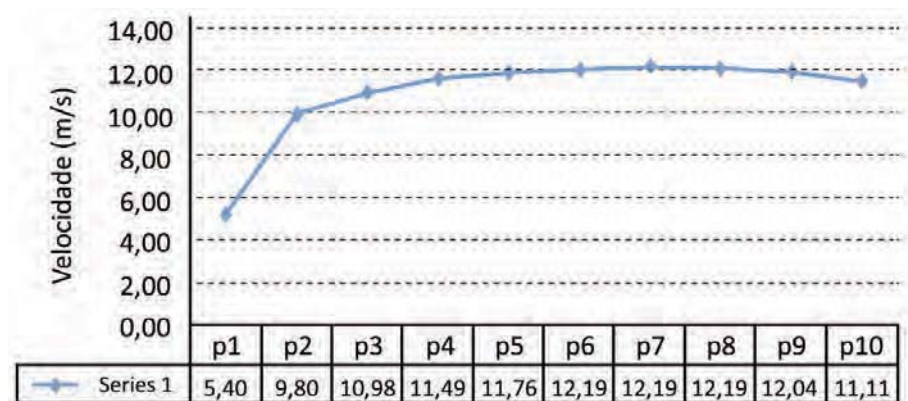
Tal medida se faz importante, pois, por meio dela, é possível, por exemplo, observar a variação da velocidade do atleta nos diferentes trechos da corrida e realizar, por meio do treinamento, as alterações necessárias.

Quando o atleta reduz sua velocidade, diz-se que ele desacelerou. Ao se observar a Figura 5, correspondente à Tabela 1 acima, que tem como variáveis a velocidade e o tempo, considerando a escala estabelecida, percebe-se que entre p1 e p5 o atleta aumenta sua velocidade (fase de aceleração), para, em seguida, alcançar sua velocidade máxima e mantê-la durante um certo período (p6, p7 e p8) e, finalmente, em função de diferentes fatores (diminuição na produção de energia, coordenação intramuscular, entre outros), tem-se um trecho de redução da velocidade, ou desaceleração (p9 e p10).

⁵ Quando o intervalo de tempo tende a zero, a velocidade vetorial média tende a um limite que é denominado *velocidade vetorial instantânea*. Assim, esta é a velocidade de um corpo em um instante de tempo que tende a zero, "zerando" sua direção e sentido.

Figura 5.

Representação da velocidade média de corrida dos atletas dos 100m rasos nos Jogos Olímpicos de Pequim, 2008



Fonte: PRUDÊNCIO, 2010.

De forma análoga ao cálculo da velocidade, tem-se, para o cálculo da aceleração, o produto da velocidade em função do tempo:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Legenda:

a = aceleração (m/s²)

Δv = variação da velocidade

Δt = variação do tempo

Tanto a velocidade quanto a aceleração possuem como unidades de medida usual, respectivamente, a relação de metros por segundo (m/s) e metros por segundo ao quadrado (m/s²), embora qualquer unidade de distância, quando dividida por uma unidade de tempo, pode ser utilizada como notação para a velocidade e para a aceleração, como quilômetros por hora (km/h) ou milhas por hora (mph), entre outros.

4. Leis de Newton

Deve-se ao cientista inglês *sir* Isaac Newton (1643-1727) a compreensão das relações entre as diferentes manifestações da força e os movimentos, conhecidas como as *três leis do movimento* ou as *leis de Newton*.

É importante saber a definição de cada uma dessas três leis e, principalmente, saber como aplicá-las na prática.

4.1. A primeira lei do movimento de Newton: lei da inércia

A primeira lei do movimento de Newton diz que:

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele.”

Pergunta-se: quais são as aplicações dessa lei?

Um velocista não sairá do bloco de partida a não ser que suas pernas exerçam força sobre ele. Nesse caso, a posição do atleta durante o comando de “prontos” visa a alcançar uma situação de equilíbrio instável, para que ele possa sair do bloco o mais rápido possível (Figura 6, a seguir).

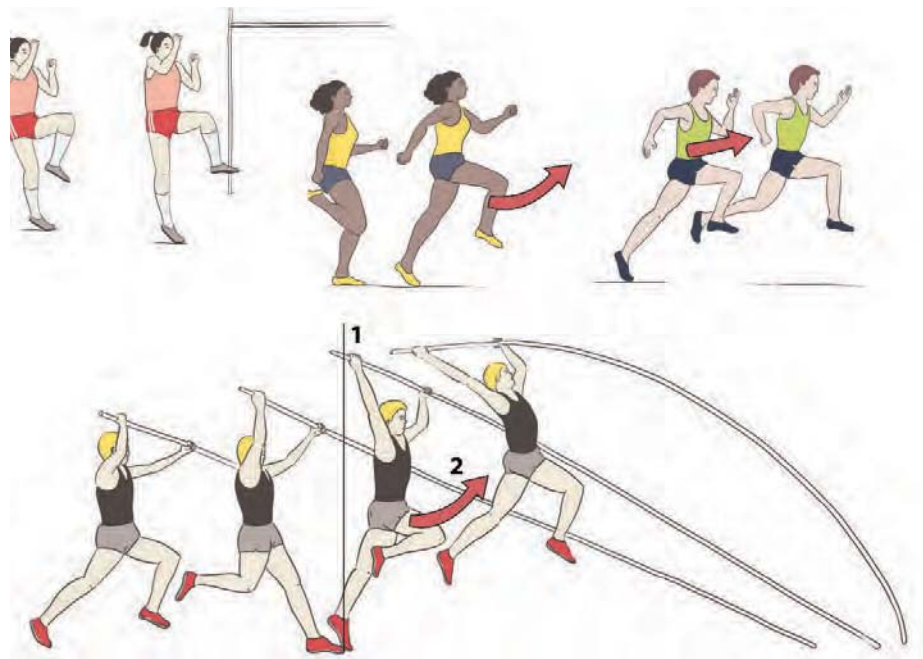
Figura 6.
Equilíbrio instável necessário para uma rápida saída do bloco



Fonte: Adaptado de IAAF, 2009.

De forma análoga, o saltador, durante a corrida de aproximação, aumenta consideravelmente a componente horizontal de sua velocidade. Se sua condição inicial de movimento (corrida) não for alterada por uma força vertical na tábua de salto, o atleta continuará correndo e não realizará o salto. Essa condição pode ser encontrada em qualquer prova de salto (Figura 7, a seguir).

Figura 7.
Alteração da condição inicial de movimento para diferentes saltos, verticalização



Fonte: Adaptado de IAAF, 2009.

4.2. A segunda lei do movimento de Newton: massa e aceleração

A segunda lei do movimento de Newton determina que:

A aceleração de um corpo é proporcional à força que a produz e ocorre na direção em que a força atua.

De acordo com essa lei, quanto maior for a força, maior será a aceleração do corpo em questão, e quanto maior for a massa desse corpo, menor será sua aceleração.

Na maioria dos esportes, a massa dos implementos não pode ser alterada; dessa forma, a solução mais viável para que um atleta alcance maiores distâncias nos lançamentos e arremessos, seja em que modalidade for, é aumentar a quantidade de força aplicada.

Por outro lado, no caso das modalidades que envolvem alguma forma de salto, algumas considerações específicas podem ser traçadas.

Atletas do sexo feminino tendem a ser mais leves do que seus congêneres masculinos; dessa forma, a massa a ser movimentada pelas mulheres durante os saltos é inferior àquela movimentada pelos homens. Sendo assim, a quantidade de força aplicada no solo por elas também é inferior à força aplicada pelos homens.

Paradoxalmente, devido à menor massa apresentada pelas mulheres, em tese, sua aceleração deveria ser maior. No entanto, a quantidade de força produzida também é menor, fato que, em parte, justifica as menores distâncias observadas nos saltos de atletas do sexo feminino.

Uma vez que o implemento ou o atleta abandonam o solo, não existe nenhuma força que possa ser exercida para acelerá-lo. Dessa forma, quanto maior for a força aplicada pelo atleta ao lançar ou saltar, maiores aceleração, altura e/ou distância poderão ser alcançadas.

Quando é necessário utilizar forças elevadas, os músculos contraem-se vigorosamente para produzi-las e, frequentemente, essa é a origem das lesões que acontecem nas fases de aceleração e de desaceleração do movimento.

4.3. A terceira lei do movimento de Newton: ação e reação

A terceira lei do movimento de Newton diz que:

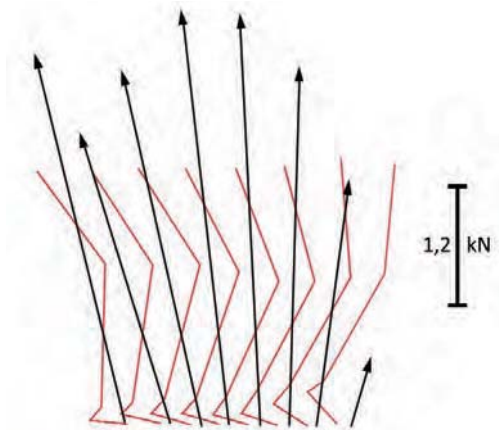
Para cada ação existe uma reação de igual intensidade e em sentido oposto.

Quando o indivíduo está correndo, ele exerce uma determinada força contra o solo. Isso cria uma força de igual magnitude e em direção contrária – conhecida como *força de reação do solo* (FRS) –, o que provoca o deslocamento do corpo no sentido da corrida, conforme pode ser observado nas Figuras 8a e 8b, a seguir.

Figura 8a.
Representação da ação e da reação na corrida



Figura 8b.
Representação da força de reação do solo durante a fase de apoio

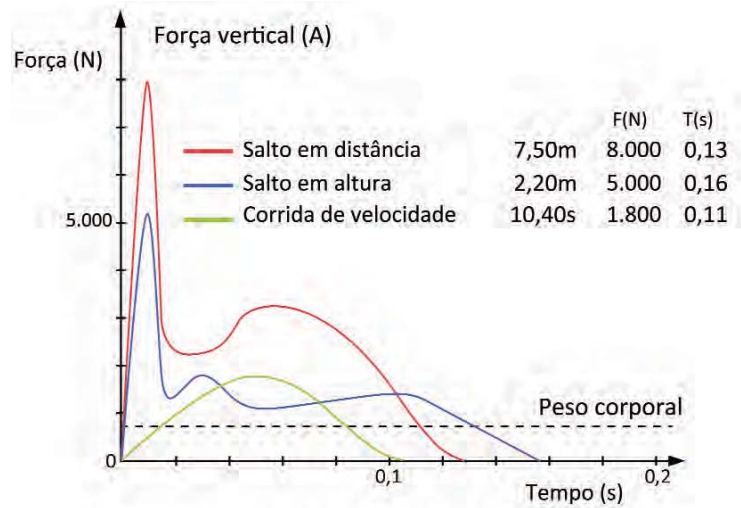


Fonte: AMADIO, 1997.

Na maioria dos casos, essa força é responsável pela movimentação do aluno/atleta ou do implemento, mas, em alguns casos, essa força de reação⁶ (FRS) pode ultrapassar os limites corporais, caso o praticante não esteja bem preparado física e tecnicamente. Observe-se o gráfico a seguir (Figura 9).

⁶ Força de reação é a força que o solo produz em um determinado corpo, quando os dois estão em contato. Essa força tem as mesmas magnitude e direção da força aplicada pelo corpo, mas direção contrária.

Figura 9.
Gráfico da força de reação para diferentes modalidades de salto



Fonte: AMADIO, 1995 apud AMADIO, 2005.

5. Cinemática da corrida

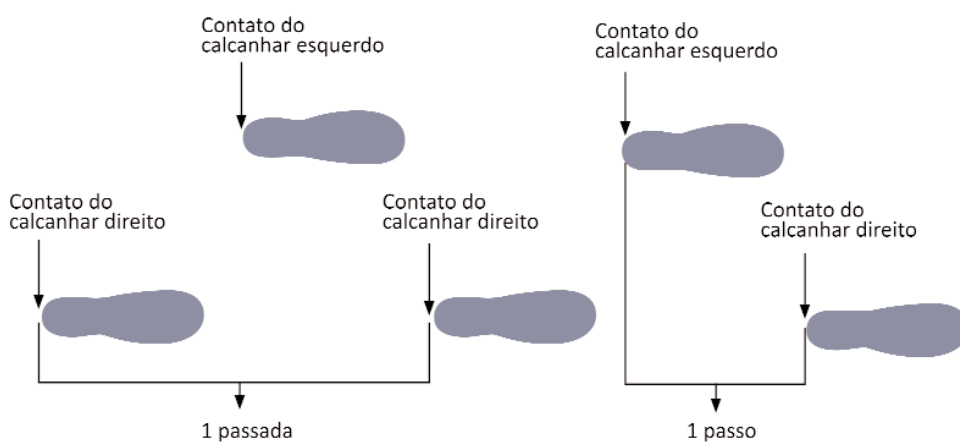
Todas as provas com predominância de atividades cíclicas utilizam alguma forma de deslocamento e, na maioria delas, esse deslocamento ocorre por meio das corridas (corridas rasas, ciclismo e natação, entre outras).

Dessa forma, essa sequência de movimentos cíclicos é definida por certos parâmetros típicos, como a frequência e o comprimento de passada.

De forma análoga à corrida, as demais atividades cíclicas também se utilizam desses parâmetros para suas análises. Assim, um técnico em natação ou nadador irá determinar os mesmos parâmetros referentes ao ciclo de braçadas e pernadas e, da mesma forma, um técnico em ciclismo terá como um dos focos de análise o ciclo composto pela cadência das pedaladas do ciclista.

No caso das corridas, Joseph Hamill e outros (1999) definiram a *passada* como sendo o evento iniciado no contato de um dos pés com o solo e finalizado com o apoio do mesmo pé no solo; por outro lado, o *passo* representa a metade da passada, que se inicia no contato de um dos pés com o solo e termina no contato do pé contrário no solo (Figura 10, a seguir).

Figura 10.
Representação dos parâmetros de análise da passada e do passo

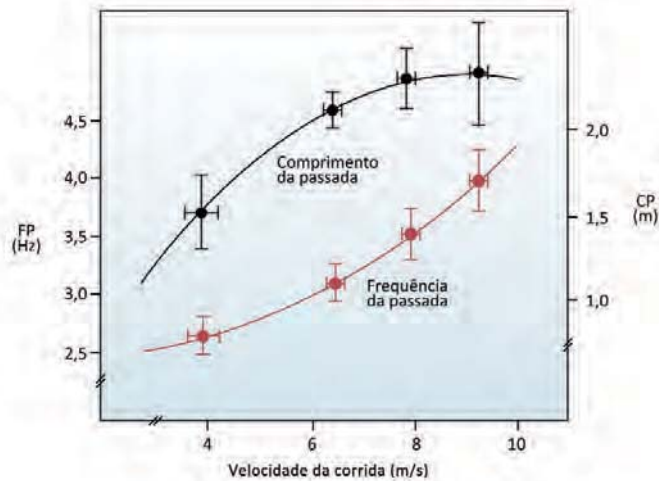


Fonte: HAMILL et al, 1999.

Os parâmetros mais facilmente observados na biomecânica da corrida estão relacionados ao comprimento da passada, que é a distância percorrida em uma única passada, e à frequência da passada, que é o número de passadas de um atleta em um determinado período de tempo.

Nas corridas, a velocidade pode ser entendida como a inter-relação que existe entre o comprimento e a frequência das passadas e, muito embora o atleta possa aumentar sua velocidade aumentando o comprimento, a frequência das passadas ou ambos, estudos têm mostrado um comportamento diferenciado desses aumentos, dependendo da velocidade do atleta, como mostra a Figura 11, a seguir.

Figura 11.
Gráfico demonstrando a relação entre frequência e comprimento das passadas para diferentes velocidades



Fonte: HAMILL et al, 1999.

Embora a relação entre frequência e comprimento das passadas esteja relacionada à antropometria dos atletas, como apresentado na Tabela 2, a seguir, estudos têm mostrado que, nas corridas de velocidade, em especial na fase de aceleração, existe uma predominância do aumento da frequência em detrimento do comprimento das passadas (MANN, 2010).

Essa relação pode estar associada à necessidade de se aumentar os momentos de aplicação de força no solo, uma vez que, durante as subseqüentes fases de voo, o atleta tende a perder velocidade, devido às ações restritivas da resistência do ar.

Destaca-se que os aumentos de velocidade, quando ocorrem em baixas velocidades (sub-máximas) e em corridas de resistência, são causados predominantemente por aumentos do *comprimento* da passada; em altas velocidades, por outro lado, os aumentos de velocidade ocorrem predominantemente por causa de aumentos da *frequência* da passada.

Tabela 2.
Relações entre comprimento e frequência de passos

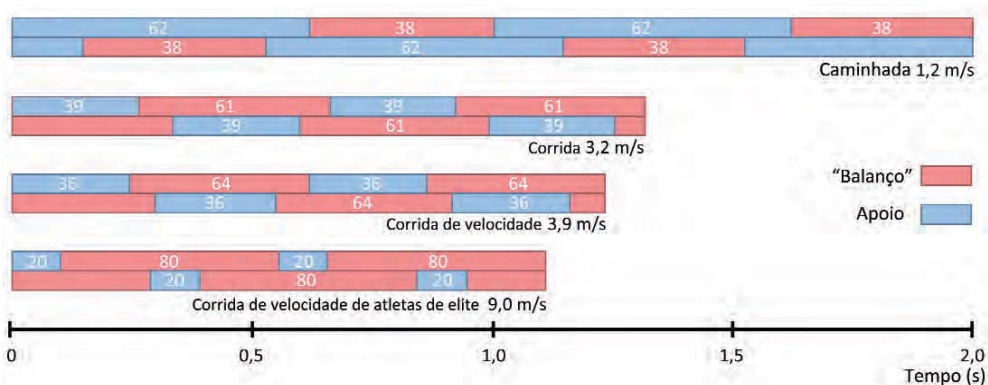
Atletas	Bolt	Asafa	Dix	Thompson	Martina	Frater	Burns	Patton
Nº de passos	41	44	47	44	46	49	43	45
Tempo (s)	9,58	9,95	9,91	9,89	9,93	9,97	10,01	10,03
Frequência média (Hz)	4,23	4,42	4,74	4,44	4,63	4,91	4,29	4,48
Comprimento médio (m)	2,43	2,27	2,12	2,27	2,17	2,09	2,32	2,22

Fonte: PRUDÊNCIO, 2010.

Além da frequência e do comprimento, também é possível analisar a corrida de forma um pouco mais detalhada e subdividi-la nas fases *de apoio* (ou suporte) e *aérea* (ou balanceio). A fase de apoio é aquela em que um dos pés do atleta está em contato com o solo, e é responsável primariamente pelo amortecimento do impacto gerado pelo contato e, posteriormente, pela aplicação de força no solo. A fase aérea é a fase na qual o atleta perde o contato com o solo.

A duração de cada uma dessas fases está associada à velocidade de corrida: a corrida mais lenta possibilita que o atleta fique mais tempo em contato com o solo (devido à forma do apoio) e, conseqüentemente, menos tempo na fase aérea. Por outro lado, na corrida de velocidade, o atleta passará menos tempo em contato com o solo e um tempo muito maior na fase aérea da corrida, como pode ser observado na Figura 12, a seguir.

Figura 12.
Apresentação das fases de apoio e aérea em relação à velocidade da corrida

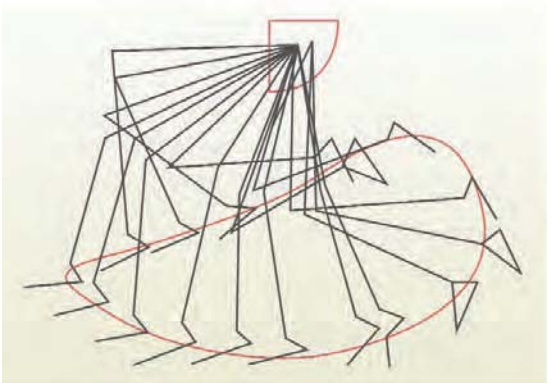


Varição nos parâmetros do ciclo da marcha em função da velocidade de movimento. Para cada condição, o gráfico de barra inicia-se no contato inicial na esquerda e representa dois ciclos completos ou passada. Note-se que à medida em que a velocidade aumenta, o tempo gasto na fase de balanço aumenta (vermelho), o tempo de contato diminui (azul), o tempo de voo aumenta e o tempo do ciclo encurta. As informações deste gráfico são oriundas dos dados coletados no laboratório de análise do movimento.

Fonte: NOVACHECK, 1998.

A velocidade de corrida promove alterações não apenas na duração das fases, mas também na forma como elas acontecem. Por exemplo, nas corridas de velocidade, a fase de apoio é executada apenas com o terço anterior do pé, como mostra a Figura 13, a seguir.

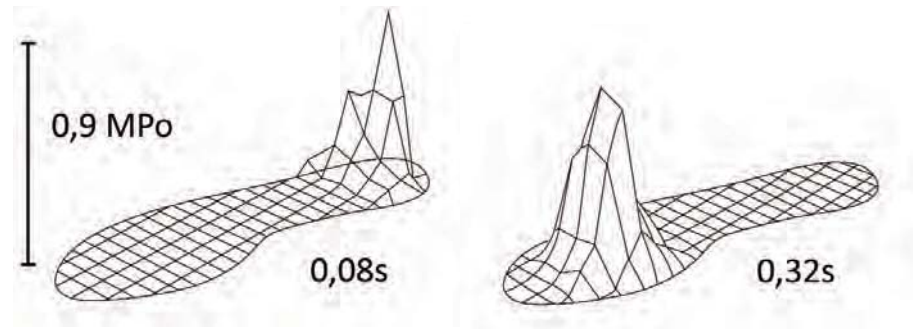
Figura 13.
Padrão da fase de apoio e recuperação da corrida



Fonte: Adaptado de IAAF, 2009.

No entanto, nas corridas de resistência, o padrão de distribuição da pressão plantar⁷ dos corredores de distância no solo ocorre inicialmente por meio do contato do calcanhar com o solo, em um movimento de “mata-borrão”, no qual o peso corporal do atleta percorre toda a sola do pé, do calcanhar até a ponta, conforme a Figura 14, a seguir.

Figura 14.
Distribuição da pressão no solo em corredores de distância



Fonte: NOVACHECK, 1998.

A Figura 12 também pode auxiliar para se verificar claramente a fase de recuperação, fase em que se observa um aumento no tempo de balanceio (recuperação) entre o *sprint* (3,9 m/s) e o *elite sprint* (9m/s).

⁷ *Pressão plantar* é a pressão distribuída na área que compreende a planta (ou sola) do pé. Essa pressão mantém relação com a massa corporal do atleta, com a velocidade de corrida e com a ação da força da gravidade.

6. Biomecânica do nado

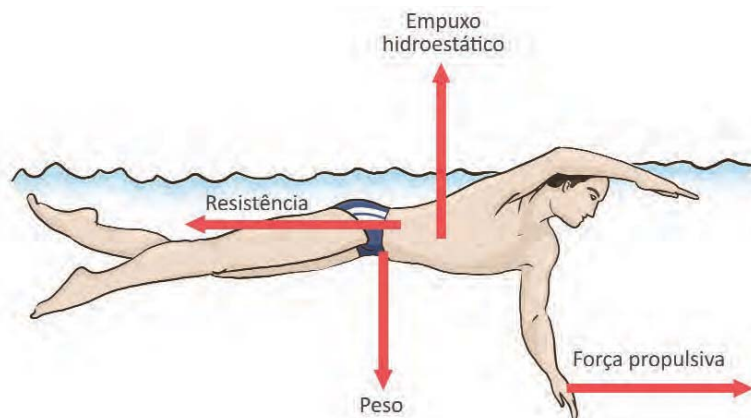
De forma análoga aos esportes realizados nos meios terrestre e aéreo, os corpos, quando submersos em meio líquido, são submetidos a diferentes tipos de forças que podem ser divididas basicamente em *resistivas* e *propulsivas*, além daquelas forças que se relacionam com o corpo em condição estática (ou hidrostática).

Por estarem submetidos às forças anteriormente mencionadas, Counsilman e Counsilman (1994), citados por Belloch (2006), enfatizam que

65% de nós é água, mas quando o ser humano se introduz no meio aquático se encontra num elemento estranho para o que estamos pobremente desenhados e onde nossa locomoção é pouco eficiente. Os peixes e outros animais marinhos estão equipados com aletas que são relativamente pequenas em comparação com o tamanho do seu corpo, os seres humanos têm membros superiores inferiores longos e delgados que proporcionam muito pouca superfície com o que interagir com a água.

As condições dos seres humanos quando submetidos ao meio líquido se devem às características do fluido utilizado nas atividades recreativas, profiláticas, de treinamentos e competições: a água. Dessa forma, a Figura 15 mostra as principais forças atuantes nos corpos imersos no meio líquido.

Figura 15.
Representação das forças hidrostáticas e hidrodinâmicas às quais os corpos submersos estão submetidos



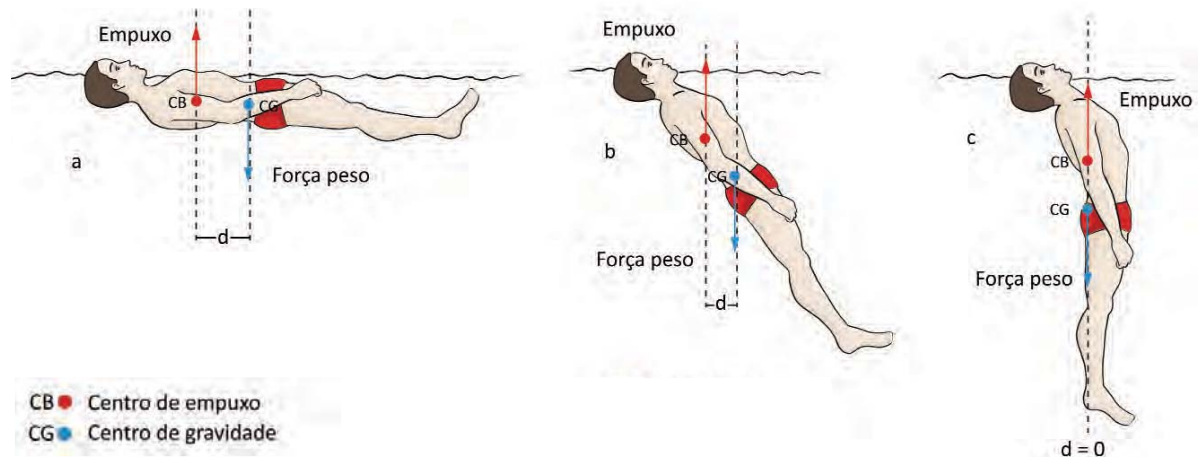
Fonte: BELLOCH, 2006.

De acordo com o princípio de Arquimedes, todo corpo submerso está sujeito a um empuxo de direção vertical, sentido ascendente e magnitude igual ao peso do volume deslocado. Sendo assim, a sensação de leveza criada ao se entrar em uma piscina sem realizar movimento algum se deve a tal princípio. Essa *flutuabilidade* depende do peso da pessoa e do *empuxo hidroestático* (E_h)⁸, sendo que, quando uma pessoa flutua, seu peso é igual ao empuxo e, quando ela afunda, seu peso é maior do que o empuxo.

⁸ Esse é o princípio que apresenta a relação entre a força exercida em um corpo e a quantidade de fluido que ele desloca, quando submerso.

Ao observar uma flutuação em decúbito ventral ou dorsal, pode-se perceber claramente que algumas pessoas não flutuam em um mesmo nível, ou de forma paralela em relação à linha d'água. Tal situação ocorre porque o ponto de aplicação da força *peso* (*P*) não coincide com o ponto de aplicação do empuxo e, por serem forças de magnitude e de sentidos diferentes, elas causam essa rotação no corpo (*torque* ou *momento*) até que entrem em equilíbrio, como mostra a Figura 16, a seguir.

Figura 16.
Diferentes condições de equilíbrio das forças peso e empuxo



Fonte: BELLOCH, 2006.

Essa condição de equilíbrio entre as forças tem influência direta na flutuabilidade do nadador, bem como em seu deslocamento, e determina, em muitos casos, a facilidade ou a dificuldade de realização das pernadas, bem como a relação entre a frequência e o comprimento da passada.

6.1. Forças resistivas (arrasto)

As forças que dificultam o deslocamento do corpo no meio líquido são conhecidas como forças resistivas, e elas são congêneres, ou seja, possuem as mesmas propriedades, da força de resistência do ar experimentada no atletismo e no ciclismo.

No meio líquido, essa força pode ser subdividida em três tipos de resistência, como será visto nos próximos tópicos.

6.1.1. Resistência de arrasto

De acordo com Barros (2010), essa força tem íntima e complexa relação com as variáveis envolvidas na situação: coeficiente de arrasto, escoamento do corpo, além do tipo de fluido (se laminar ou turbulento), densidade e área da secção transversa do corpo em movimento. O conhecimento dessas variáveis permite que o técnico ou professor trabalhe no sentido de reduzir as forças resistivas, enquanto aumenta as forças propulsivas do atleta ou aluno.

A criação de uma zona de alta pressão (Figura 17, a seguir) na frente do corpo provoca esse fluxo turbulento, que aumenta o arrasto em uma relação quadrática à velocidade, ou seja, quando não há grande fluidez entre o corpo do nadador e o fluxo laminar da água, o arrasto criado equivale à velocidade do nado elevada ao quadrado.

Figura 17.
Representação dos gradientes de pressão criados pelo nadador durante o deslocamento



Fonte: BELLOCH, 2006.

Além disso, é notório que nadadores despendem menos energia metabólica quando ocorre um fluxo turbulento criado por outros nadadores que se deslocam à sua frente (TOUSSAINT et al., 2000).

Barros (2010) salienta que se pode observar, na cinemática⁹ de um nadador, que parte de seu corpo enfrentará um fluxo turbulento (como, por exemplo, suas pernas durante a entrada) enquanto outras partes enfrentarão um fluxo laminar (os braços, a cabeça e o tronco, quando bem “alinhados” durante a entrada). Assim, os professores e treinadores devem identificar cada fase do nado, a fim de equilibrar essa relação entre os fluxos.

Mediante o que foi explicado anteriormente, essa relação entre os fluxos está intimamente relacionada com a área de secção transversa do corpo durante o nado; com isso, quanto mais fusiforme¹⁰ for a posição do nadador, menor será o arrasto criado por ele.

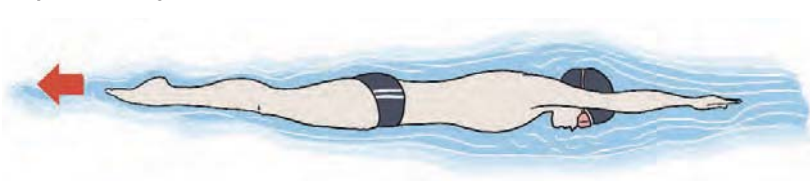
No que concerne ao escoamento do corpo no meio líquido, podemos dividi-lo em fluxo turbulento (Figura 18a) e fluxo laminar (Figura 18b), como foi introduzido acima.

Figura 18a.
Representação do fluxo turbulento



Fonte: BELLOCH, 2006.

Figura 18b.
Representação do fluxo laminar



Fonte: BELLOCH, 2006.

⁹ *Cinemática* é o ramo da física que se ocupa da descrição dos movimentos dos corpos, sem considerar a análise de suas causas (dinâmica).

¹⁰ *Corpos fusiformes* são conhecidos por terem forma de fuso; em relação aos músculos, os exemplos são o bíceps e o tríceps.

Considerando essas variáveis resistivas que afetam o nado, é importante salientar novamente que sua redução, sem que isso represente a diminuição da capacidade propulsiva do nadador, é um fator fundamental tanto no desempenho, quanto na simples fluidez do nado.

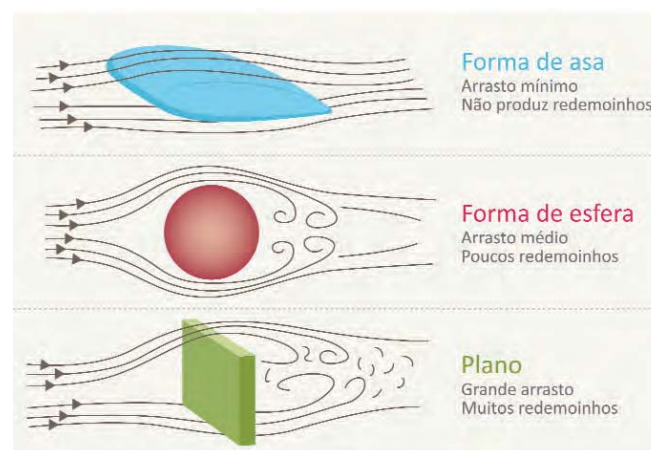
Outras formas de redução do arrasto, com economia da energia resultante, são apresentadas por Toussaint et al. (2000): atletas mulheres experimentam uma redução de aproximadamente 30% do gasto energético em relação aos homens nadando em uma mesma velocidade; tal situação pode ser explicada pelo fato de as mulheres despenderem menos energia com a flutuação e a manutenção do corpo na posição horizontal, devido à composição corporal e à distribuição do tecido adiposo.

Embora as provas em piscina sejam habilidades fechadas, com pouca ou nenhuma influência dos competidores entre si, existem algumas provas em águas abertas, nas quais a utilização da *esteira*, ou seja, quando um atleta nada imediatamente atrás de outro nadador, é permitida. Nessa situação, o nadador que está atrás experimenta, segundo Ribeiro et al. (2001), uma significativa redução do consumo de oxigênio (O_2), da concentração de lactato, da percepção subjetiva de esforço e da frequência cardíaca, o que acarreta uma economia de energia.

As razões mecânicas pelas quais essa economia acontece podem estar associadas ao menor arrasto exercido em atletas que vivenciam uma redução da resistência frontal – que também pode ser alcançada pela adequação do posicionamento do corpo durante o nado –, mas principalmente pelo fluxo turbulento que é produzido pelo atleta-guia, o que está na frente; esse fluxo tende a diminuir a resistência passiva do atleta na esteira e, além disso, em determinadas velocidades, a forma do turbilhão gerado cria um fluxo que propicia essa economia de energia.

Os efeitos da linha aerodinâmica podem ser mensurados em um *túnel aerodinâmico*. Afora as linhas, três outros fatores afetam o arrasto: a densidade do fluido, a proporção da área do corpo que entra em contato com o fluido e a velocidade do corpo através do fluido. A força de arrasto dobra proporcionalmente à densidade do fluido ou à área do corpo que entra em contato com ele. Dessa forma, quando a velocidade do corpo aumenta, a força de arrasto é elevada ao quadrado, como mostra a Figura 19, a seguir.

Figura 19.
Diferentes formatos do fluxo (laminar e turbulento)



Fonte: Adaptado de <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/planador/aerodinamica-5.php>. Acesso em 28 jun. 2012.

6.1.2. Resistência de onda

É o tipo de resistência que o nadador enfrenta quando o corpo está na interface entre a água e o ar, e enfrenta a colisão das ondas com seu corpo, o que não ocorre quando ele está submerso (nas saídas e nas viradas). Em baixas velocidades, esse tipo de resistência é desprezado; porém, em altas velocidades, essa pode ser a principal forma de resistência sofrida pelo atleta (BELLOCH, 2006).

Em piscinas, esse tipo de resistência vem sendo reduzido pelo uso de separadores ou raias, que absorvem a energia mecânica das ondas produzidas pelos nadadores e as transformam em rotação dos anéis das próprias raias. A forma de sua construção fornece um sistema de escoamento que evita o retorno dessas ondas para dentro da piscina e deixa um espaço maior para os nadadores nas raias mais externas, permitindo com isso maior dissipação das ondas (BARROS, 2010).

No mar, existe um paradoxo nessa forma de resistência segundo o qual se, por um lado, ela afeta diretamente a relação entre a fluidez do nado e o movimento das ondas, por outro, a “bolsa de ar” criada pelas depressões que acontecem após as ondas facilita a respiração dos nadadores, o que, segundo Belloch (2006), aumenta de acordo com a sua velocidade.

6.1.3. Resistência por fricção

Essa forma de resistência tem seu ponto culminante no atrito produzido na interface entre o corpo do atleta e o meio líquido. Sendo assim, primariamente, a ideia de reduzir o coeficiente de arrasto remonta à década de 1970, quando os atletas eliminavam os pelos com o intuito de reduzir tal coeficiente, ainda que com pouca ou nenhuma eficiência comprovada.

No entanto, de acordo com diferentes trabalhos enunciados por Santos et al. (2011), embora não haja consenso entre os pesquisadores quanto à magnitude das alterações proporcionadas pelos trajes de neoprene, diferentes autores são enfáticos em afirmar que esse artifício produz alterações na velocidade de nado e na redução do arrasto propulsivo (De LUCAS et al., 2000).

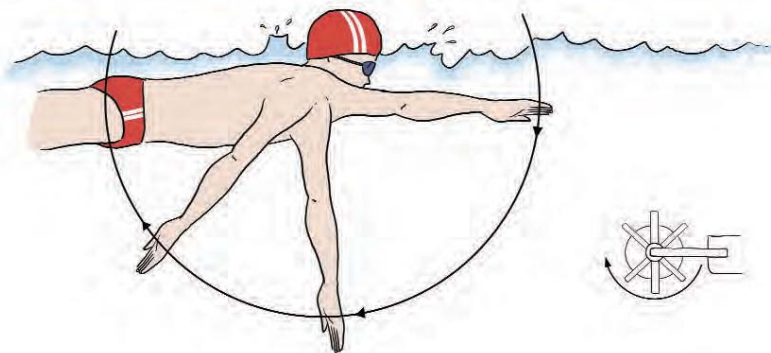
Na atualidade, fica comprovado que os materiais de trajes confeccionados para a natação, como o neoprene e o teflon, dentre outros, permitem uma real redução no coeficiente de arrasto e, por consequência, nos resultados das provas, o que culminou com a proibição de certos tipos de trajes nos Jogos Olímpicos de Pequim, em 2008.

6.2. Forças propulsivas

As leis que regem a hidrodinâmica dos corpos no meio líquido e as forças de propulsão dos seres humanos vêm sendo estudadas ao longo dos anos, sendo que, em determinados momentos da história, esses estudos foram complementares e, em outros, antagônicos.

Os primeiros trabalhos realizados na década de 1960 valeram-se dos princípios de Newton – especialmente sua terceira lei, mencionada anteriormente – para explicar o deslocamento do corpo humano durante o nado. À época, acreditava-se que um maior percurso dos braços na água, tendo como referência o movimento das rodas de água que movimentam os barcos a vapor, seriam fatores preponderantes para entender o deslocamento no meio líquido (Figura 20, a seguir).

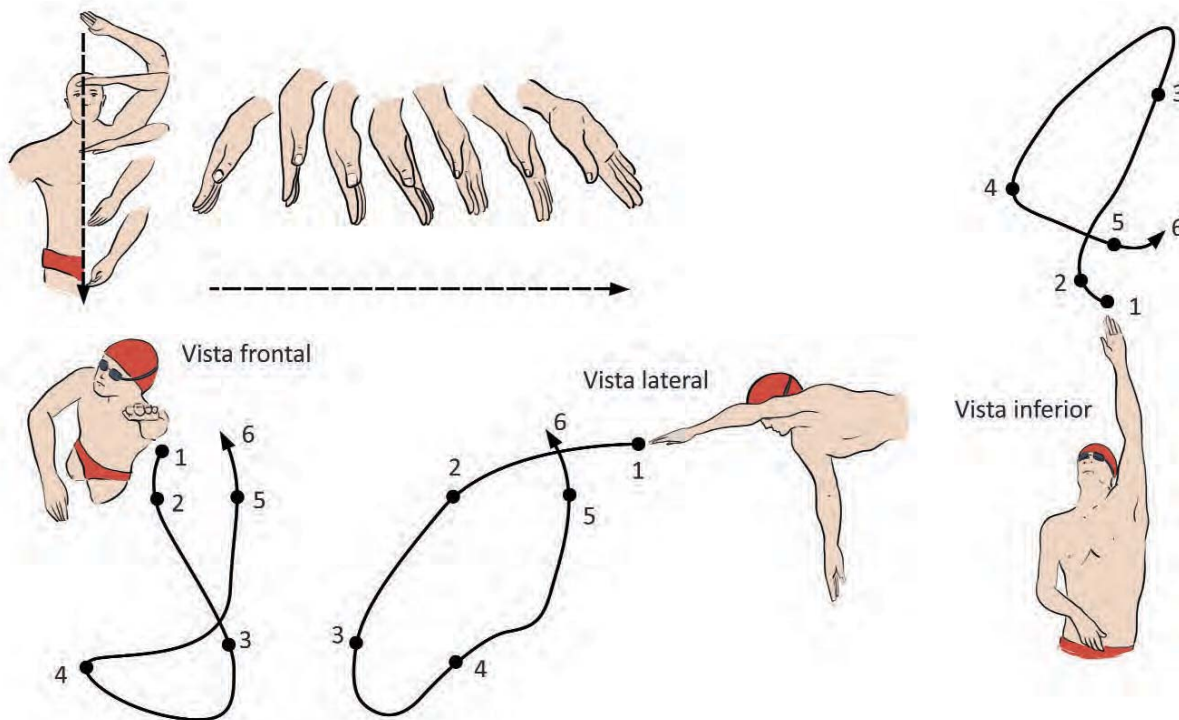
Figura 20.
 Representação do deslocamento dos braços durante a fase submersa do nado *crawl*



Fonte: CONSILMAN, 1969 apud LIMA, s/d.

Em pouco tempo, observou-se que os principais nadadores não realizavam esse tipo de movimento e, ainda de acordo com o princípio postulado por Newton (ação e reação), a forma de deslocamento das mãos na fase submersa, ou seja, o padrão de movimento dos braços, foi prontamente substituído por um modelo amplamente utilizado até os dias de hoje (Figura 21, a seguir). Tal modelo permite que o atleta realize diferentes rotações nos braços e nas mãos para, assim, “apoiar-se” de forma mais eficiente na água, conforme representado na figura a seguir.

Figura 21.
 Representação das mudanças de direção dos braços e das mãos durante a realização da braçada no nado

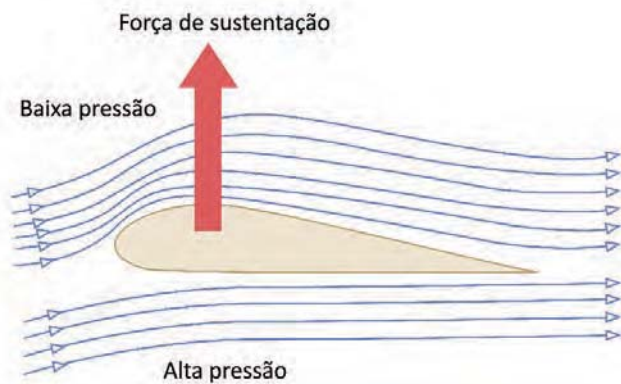


Legenda: 1-2 = entrada e alongamento; 2-3 = varredura para baixo e “pegada”; 3-4 = varredura para dentro; 4-5 = varredura para cima; 5-6 = liberação e saída.

Fonte: BELLOCH, 2006.

Posteriormente, o modelo adotado foi embasado no princípio de Bernoulli, que determina que, quando submetido a uma determinada velocidade, o corpo submerso experimenta uma força de sustentação ascendente, demonstrada na Figura 22, a seguir.

Figura 22.
Representação do princípio de Bernoulli

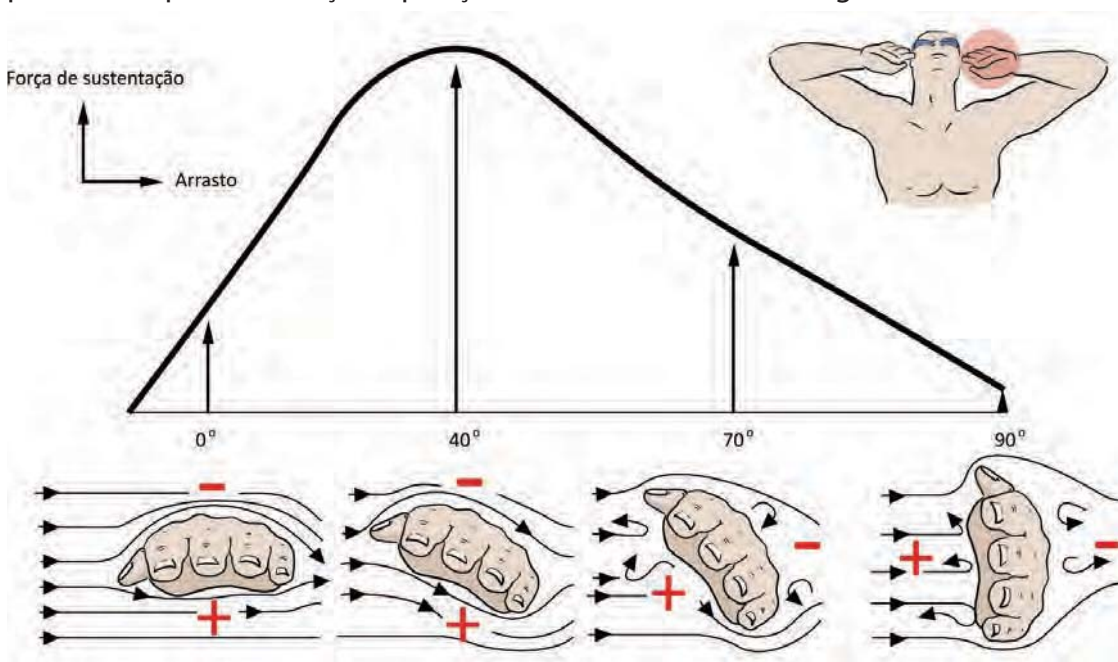


Fonte: BELLOCH, 2006

De forma análoga às asas dos aviões, quando em movimento, o aumento da velocidade produz um maior gradiente de pressão sob as asas, o que, por sua vez, produz a referida força de sustentação.

Na natação, essa força de sustentação acontece pelo posicionamento adequado do atleta na água. Prova disso é o estudo de Plagenhoef e Schleihauf (1978), citado por Bixler (2002), que indica diferentes forças de sustentação dependendo da posição da mão do nadador na água (Figura 23, a seguir).

Figura 23.
Representação dos diferentes gradientes de pressão produzidos pela mudança da posição da mão do nadador na água



Fonte: SCHLEIHAUF, 1979 apud BIXLER, 2002.

Em meados dos anos 1980, Cowling, citado por Belloch (2006), apresentou uma nova perspectiva para o estudo da propulsão, que recebeu o nome de *hipótese propulsiva dos vórtices*. Tal hipótese surgiu com base nas diferenças de velocidade e de pressão criadas em torno de um determinado perfil¹¹, segundo indica o teorema de Bernoulli.

Se, por um lado, o meio líquido dificulta a observação e a avaliação biomecânica – principalmente na fase submersa –, por outro lado, a ampliação do uso de equipamentos e a disseminação do conhecimento científico criaram uma série de possibilidades de avaliações qualitativas e quantitativas orientadas para esse fim. Dentre elas, estão as relações entre frequência e comprimento de um determinado ciclo (braçada ou pernada), que podem ser mensuradas com um cronômetro e pela observação atenta do profissional responsável.

Somando-se a isso, a vivência prática, a observação criteriosa dos diferentes estilos de nado e o conhecimento aprofundado dos conceitos de hidrostática e de hidrodinâmica, fornecem aos profissionais uma variada gama de possibilidades na observação e na correção de seus alunos ou atletas.

¹¹ Em mecânica, o termo *perfil* diz respeito ao contorno ou ao formato de um objeto. Nesse caso, tome-se como exemplo a Figura 23.

7. Considerações finais

No meio esportivo, é comum encontrar professores e técnicos que acreditam que a biomecânica é uma disciplina complicada, devido à sua íntima relação com os vários preceitos oriundos da física e da matemática, e também porque suas análises dependem exclusivamente de equipamentos, por vezes, pouco acessíveis.

Se, por um lado, essa afirmação representa uma parte da biomecânica desenvolvida em laboratórios e em outros centros de pesquisa, por outro lado, existem excelentes avaliações biomecânicas que podem ser realizadas de forma simples e com baixo custo.

Como exemplo, é possível mencionar a avaliação das características cinemáticas do movimento esportivo, pois atualmente existem no mercado diferentes tipos de equipamentos de registro de imagens, além de *softwares* encontrados na internet, utilizados para realizar análises qualitativas do movimento.

Mais acessíveis ainda são as avaliações qualitativas e quantitativas que podem ser realizadas com ferramentas como cronômetros e fitas métricas, e com o conhecimento dos fundamentos básicos da cinemática, como, por exemplo, o cálculo da velocidade e de sua derivada (a aceleração), para qualquer distância percorrida por um determinado atleta.

Outro ponto que facilita a mensuração de diferentes atividades é o posicionamento dos equipamentos, pois, dessa forma, pode-se tanto avaliar um determinado segmento corporal de um atleta (braço, perna ou mesmo a posição aproximada do CM), por meio do posicionamento da câmera próximo ao que se deseja avaliar, como também é possível, ao afastar essa câmera, ter uma visão panorâmica e acompanhar, por exemplo, o deslocamento de um ou mais jogadores durante uma partida, ou mesmo o esquema tático das equipes.

Dessa forma, a biomecânica tanto atende a laboratórios e a pesquisas científicas, como auxilia o professor que está diariamente ao lado de seus alunos/atletas na pista, na piscina, no campo ou na quadra. Porém, o fator essencial para qualquer profissional é a necessidade de se obter um conhecimento aprofundado da atividade a ser realizada, bem como das demais disciplinas que fornecem fundamentação teórica e prática à moderna ciência do treinamento esportivo.

Considerando-se a ampliação do acesso a equipamentos para observação e gravação das diferentes modalidades esportivas – mesmo em atividades subaquáticas –, bem como a facilidade na medição das variáveis envolvidas nessas atividades (tempo, distância, frequência e comprimento de um determinado ciclo, entre outros), as análises biomecânicas se popularizaram nos últimos anos, entre professores e técnicos esportivos.

Durante muitos anos, esses profissionais dispunham apenas de sua experiência e conhecimento para observar e agir em relação às análises biomecânicas do movimento. Atualmente, além da fundamental importância da experiência e da vivência dos profissionais, existe uma série de ferramentas e métodos de avaliação à disposição desses profissionais.

As avaliações quantitativas e qualitativas em biomecânica dependem do conhecimento teórico adquirido por meio da leitura do grande número de trabalhos

existentes em diferentes áreas de conhecimento como os princípios básicos de física (em especial a cinemática), conceitos de matemática, entre outros, que fundamentam e indicam alterações no padrão do movimento humano. Essas alterações visam à correção da execução dos movimentos básicos, assim como à otimização do rendimento esportivo, adequando as atividades diárias e trabalhando a reabilitação, mas, indubitavelmente, também visam à diminuição do risco de lesões nos praticantes.

A aplicabilidade e os exemplos concretos da utilização desses mecanismos são abordados também no caderno 11 desta série, intitulado “Avaliação física”, e também serão objeto de módulo específico no processo de formação continuada do Programa Brasil Vale Ouro.

Assim, saber analisar com segurança o movimento humano é uma competência fundamental para um professor de educação física ou de esporte, para identificar vícios adquiridos no decorrer do aprendizado, desvios posturais e falta de maturidade nos movimentos, com o objetivo principal de corrigir esses problemas o mais brevemente possível. Esse processo é fundamental para a melhora das habilidades e da qualidade técnica dos movimentos e, conseqüentemente, para garantir o desenvolvimento humano integral e integrado por meio do esporte.

Bibliografia

AMADIO, A. C. *Fundamentos da biomecânica do esporte: considerações sobre a análise cinética e aspectos neuromusculares do movimento*. 1989. Tese (Livre docência) – Escola de Educação Física e Esporte/Universidade de São Paulo.

AMADIO, A. C. Métodos de avaliação: biomecânica do esporte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11. 18-12 jun. 2005. *Anais...* João Pessoa: Sociedade Brasileira de Biomecânica, UFPB, 2005.

AMADIO, A. C.; BARBANTTI, V. J. (Orgs.). *A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares*. São Paulo: Estação Liberdade, Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, 2000.

AMADIO, A. C.; DUARTE, M. (Coords.). *Fundamentos biomecânicos para análise do movimento*. São Paulo: Laboratório de Biomecânica/Escola de Educação Física e Esporte/Universidade de São Paulo, 1996.

AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. Contextualização da biomecânica para investigações do movimento: fundamentos, métodos, e aplicações para análise da técnica esportiva. *Revista Brasileira de Educação Física e Esportes*, São Paulo, v. 21, n. 61, p. 61-85, dez. 2007.

AMADIO, A. C. et. al. Introdução à biomecânica para análise do movimento humano: descrição e aplicação dos métodos de medição. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 1997.

BARROS, R. M. L. Biomecânica da natação: considerações sobre a seleção de modelos. *Rev Mackenzie de Educação Física e Esportes*, n. 9, sup. 1, p. 60-63, 2010.

BARROS, R. M. L. et al. A 3D kinematical analysis of long jump in the “Gold Meeting Rio of Athletics 2007”. *ISBS Conference Proceedings Archive*. Disponível em: <<https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/521/460>>.

BELLOCH, S. L. *Análise biomecânica em natação*. 2006. Disponível em: <http://www.notinat.com.es/docs/analisis_biomecanico_en_natacion.pdf>.

BIXLER, B.; RIEWALD, S. Analysis of a swimmer’s hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, n. 35, p. 713-717, 2002.

BORIN et.al. Buscando entender a preparação desportiva a longo prazo a partir das capacidades físicas em crianças. *Arquivo em Movimento: Revista Eletrônica da Escola de Educação Física e Desportes*, UFRJ, v. 3, n. 01, jan./jun., 2007.

CONCEIÇÃO, F. O panorama actual da biomecânica do desporto: desafio e limitações. *Rev. Bras. de Educação Física e Esporte*, v. 20, sup. 5, p. 94-96, set. 2006.

COUNSILMAN, J. E.; CONSILMAN, B. E. *The new science of swimming*. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.

DE LUCAS et.al. The effects of wet suits on physiological and biomechanical indices during swimming methods and procedures. *Journal of Science and Medicine in Sport*, Belconen, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2000.

GRAHAN-SMITH, P.; LEES, A. A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. *Journal of Sport and Science*, v. 23, n. 9, p. 891-903, Sep. 2005.

HAMILL, J. et al. *Bases biomecânicas do movimento humano*. São Paulo: Ed. Manole, 1999.

IAAF. *Material didático apresentado e disponibilizado no curso de formação de treinadores nível 1*. Bragança Paulista: International Association of Athletics Federations, 2009.

LICHTENBER, D. B.; WILLS, J. Maximizing the range of shot put. *American Journal Physics*, v. 46, n. 05, May 1978.

LIMA, W. U. *Aspectos biomecânicos e hidrodinâmicos da natação*. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.fisioterapeutasplugadas.com.br/ASPECTOS%20BIOMECC%3%82NICOS%20E%20HIDRODIN%3%82MICOS%20DA%20NATA%3%87%3%83O.pdf>>.

MANN, R. The European Sprints and Hurdles Conference. *New Studies in Athletics*, n. 3, abr. 2010.

NOVACHECK, T. F. The biomechanics of running. *Gait and Posture*, n. 7, p. 77-95, 1998.

OKUNO, O.; FRATIN, L. *Desvendando a física do corpo humano*. São Paulo: Ed. Manole, 2003.

PRUDÊNCIO, M. V. *Material de aula da disciplina de Atletismo do curso de Educação Física da Unicamp*, 2010.

RIBEIRO, L. F. P. et al. Resposta lactacidêmica de nadadores e triatletas em função da utilização de "esteira" durante a natação em velocidade correspondente ao limiar anaeróbio. *Revista Paulista de Educação Física*, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 55-62, jan./jun. 2001.

SANTOS, K. B.; BENTO, P. C. B.; RODACKI, A. L. F. Efeito do uso do traje de neoprene sobre variáveis técnicas, fisiológicas e perspectiva dos nadadores. *Revista Brasileira de Educação Física e Esportes*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 189-95, abr./jun. 2011.

SERRÃO, J. C.; AMADIO, A. C. Kinetic and electromyographic adaptations in barefoot locomotion. *Brazilian Journal of Biomechanics*, a. 2, n. 2, p. 43-51, mai. 2001.

TOUSSAINT, H. M. et al. Biomechanics of swimming. In: GARRETT, W. E.; KIRKENDALL, D. T. (Eds.). *Exercise and sport science*. New York: Lippincott Williams & Wilkins, 2000. p. 639-660.



Organização
das Nações Unidas
para a Educação,
a Ciência e a Cultura

Cooperação
**Representação
no Brasil**