

BIOMECÂNICA DO DESPORTO

João Paulo Vilas-Boas

AGRADECIMENTOS:

Tornam-se públicos os agradecimentos do autor ao Prof. Doutor Leandro Machado, meu colega e amigo, pela revisão, correção e sugestões que realizou sobre o manuscrito original.

-
1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA
 2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA
 3. A BIOMECÂNICA NA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DESPORTIVO E NO FORNECIMENTO DE *FEEDBACK* AO EXECUTANTE
-

Índice

CAPÍTULO I.

1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA	5
1.1 A BIOMECÂNICA, AS CIÊNCIAS E AS CIÊNCIAS DO DESPORTO	5
1.2 OBJETO DE ESTUDO DA BIOMECÂNICA	11
1.3 OBJETIVOS DA BIOMECÂNICA DO DESPORTO	13
AUTOAVALIAÇÃO	15
GLOSSÁRIO	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123



1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA
2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA
3. A BIOMECÂNICA NA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DESPORTIVO E NO FORNECIMENTO DE *FEEDBACK* AO EXECUTANTE



PREFÁCIO

A formação de treinadores desportivos é decisiva para o progresso do desporto nacional. Não basta, naturalmente, dispormos de talentos que se disponham a treinar de forma a atingir a excelência, nem tão pouco dispormos das condições de trabalho necessárias (infraestruturas, apoios e condições de prática). É igualmente necessário que o quadro de atividades solicitadas quotidianamente aos praticantes responda às suas efetivas necessidades de progressão desportiva com vista ao mais elevado nível de rendimento. Isto é,

é necessário que a orientação técnica e a prescrição das tarefas de preparação desportiva a que estão sujeitos os praticantes sejam as mais acertadas, o que implica uma muito adequada formação dos profissionais responsáveis por esta orientação desportiva e prescrição das tarefas de preparação: os treinadores.

O Programa Nacional de Formação de Treinadores, vem exatamente neste sentido, procurando dotar estes agentes desportivos, decisivos para a evolução dos praticantes, dos conhecimentos e competências imprescindíveis ao sucesso da sua tarefa. A aquisição destes conhecimentos e competências pode ser conseguida por duas vias claramente identificadas: a via da formação técnica e a via da formação universitária. São efetivamente vias distintas, com ênfases diversas em tempos diferentes; mas são vias paralelas e porventura complementares que conduzem (que vêm garantindo a condução) ao sucesso desportivo dos praticantes. Porventura uma começará por ser mais escorada na formação teórica – nos saberes – e outra na formação prática – no “saber fazer” –, mas ambas deverão convergir para a formação integral do domínio de competências do treinador, seja no quadro dos “saberes”, dos “saber fazer” e dos “saber ser”, que determinam a capacidade de intervenção do sujeito.

De entre as disciplinas exigidas para a formação de competências do treinador ao longo da formação técnica surge a Biomecânica, no Grau II, depois de uma disciplina de “Observação da Técnica Desportiva”, no Grau I, e antes de uma disciplina de “Análise do Movimento Desportivo”, no Grau III. Estas três unidades curriculares devem ser entendidas de forma integrada e complementar, contribuindo todas para a formação do treinador num eixo de competências claramente identificado: o da observação, avaliação, análise e otimização da técnica desportiva e da intervenção motora em contexto de realização desportiva.



Destas três disciplinas, a primeira centrar-se-á na dimensão pedagógica, psicológica e metodológica da observação e análise qualitativa do movimento desportivo; a segunda, a Biomecânica, no domínio da avaliação quantitativa, marcadamente objetiva, da técnica e da ação motora, enquanto que a terceira procurará alargar o âmbito da análise do movimento desportivo a espaços mais vastos de concretização, nomeadamente em articulação com as variáveis determinantes do contexto de realização, por exemplo o quadro de prestação dos companheiros e dos adversários ou, tão simplesmente, o quadro de variabilidade das condições de prática.

Em contexto académico, a Biomecânica é uma disciplina consagrada nos programas de formação graduada e pós-graduada em Ciências do Desporto. A sua forte fundamentação físico-matemática tem, porém, muitas vezes determinado o seu relativo afastamento dos programas de formação técnico-desportiva de treinadores. No quadro deste novo programa de formação nacional de treinadores desportivos, tentaremos suavizar o aparente nível de abstração muito elevado característico da disciplina e tentaremos torná-la tão obviamente imprescindível quanto efetivamente é para a formação do quadro conceitual de referências do treinador de elite. Para tal, optou-se por garantir uma abordagem a um tempo superficial e breve, do tipo Biominimechanics de Davis (1984)¹, essencialmente motivadora e esclarecedora de virtualidades, mas também integrada e generalista, de tal forma que sirva a formação dos treinadores das mais diferentes modalidades desportivas. Depois é esperado que cada modalidade, no quadro da formação específica que proporciona, desenvolva os conteúdos que lhe são próprios, de forma a que o perfil de formação do técnico formado seja a um tempo articulado com os demais, de outros espaços de realização, mas também suficientemente pragmático para consubstanciar o desenvolvimento efetivo do quadro de conhecimentos realmente determinante da sua competência na modalidade que elegeu.

Para a formação biomecânica geral, comum a todos os treinadores desportivos formados na via da formação técnico-desportiva, a carga horária atribuída à disciplina é de 6 (seis) horas teórico-práticas. Neste tão breve período de contacto procurar-se-á esclarecer o formando da natureza, enquadramento e importância da biomecânica para a sua formação. Procurar-se-á igualmente sensibilizá-lo para a construção de programas de avaliação e aconselhamento biomecânico do treino, ao mesmo tempo que se sublinhará a necessidade de perceber a (qualidade da) realização do movimento desportivo em referência ao suporte bioenergético limitado que a sustenta, levando ao entendimento de que um gesto melhor e mais eficiente garantirá uma maior rentabilização dos recursos bioenergéticos disponíveis em determinado contexto de realização e, por isso, um aumentado potencial de performance desportivo-motora.

¹ Davis, K. (1984).
«Biomaximechanics or biominimechanics –
a pedagogical dilemma».
J. Human Movement Studies, 10: 115-122





OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Saber explicar o que é a Biomecânica e como é que esta se articula com a Física e com a Biologia.
 - Saber explicar o que pretende a Biomecânica, qual o quadro de problemas que estuda e destacar porque é que se trata de um quadro de problemas específicos.
 - Saber justificar a relevância do estudo da Biomecânica no contexto das Ciências do Desporto, sublinhando a sua importância para a formação de treinadores.
-

1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA

Neste ponto vamos procurar:

- definir Biomecânica;
- mostrar como se articula com outras ciências, como a Biofísica, a Biologia e a Física;
- definir o seu objeto de estudo;
- enunciar os seus objetivos;
- sublinhar a sua especificidade;
- evidenciar a sua importância no domínio das Ciências do Desporto.

1.1 A Biomecânica, as ciências e as ciências do desporto

A palavra Biomecânica é uma palavra composta:

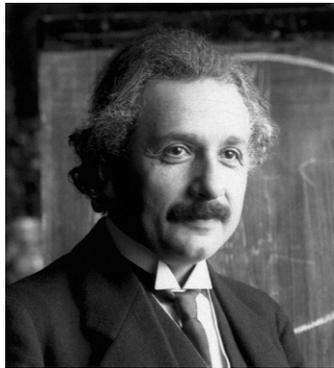
Bio + Mecânica

Sugere, pela sua conformação, que se trata de um domínio onde se cruzam as esferas da Biologia e da Mecânica; a primeira enquanto ciência consagrada ao estudo da vida e a segunda como um território tradicional da Física. Pode dizer-se, portanto, que a Biomecânica é um subdomínio da Biofísica.

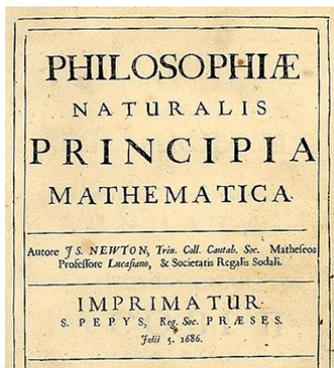
Bio + Física

A **Biologia** é a ciência que estuda os seres vivos (do Grego: *bios* = vida e *logos* = estudo), ou seja, a vida. Debruça-se sobre o funcionamento dinâmico





Albert Einstein (1879-1955): provavelmente o físico mais conhecido em todo o mundo (foto oficial do Prémio Nobel da Física 1921).



Capa da grande obra de ISAAC NEWTON (1642-1727), "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural" (1687), onde o autor estabelece os princípios fundamentais da Mecânica Clássica.

dos organismos desde uma escala molecular subcelular até ao nível populacional, bem como a interação da vida com o seu ambiente envolvente (físico-químico). Os seus ramos são múltiplos e em permanente multiplicação à medida que o conhecimento progride. A Zoologia e a Botânica são talvez dos mais clássicos, reportando-se ao estudo dos animais e das plantas, respetivamente. Mas a Citologia, a Microbiologia, a Genética, a Bioetnologia, a Ecologia e a Biotecnologia são também espaços decisivos da Biologia moderna, dos mais pequenos aos mais vastos.

Por seu lado, a **Física** é, talvez, de todas as ciências contemporâneas, a que assume um objetivo mais vasto; a *physis* é a ciência da natureza (do Grego antigo, *physis* = natureza), de tudo (Hawking, 2002, *O Universo numa casca de noz*, Lisboa, Gradiva). Cruza-se inevitavelmente, por isso, também com a Biologia na já referida Biofísica. Contempla o estudo da matéria e da energia, que em 1905 Albert Einstein (1879-1955) associou na célebre equação $E=m.c^2$, das suas propriedades e efeitos ou consequências.

A Física procura a compreensão do Universo, desde as partículas elementares até ao Universo em toda a sua vastidão: desde o infinitamente pequeno ao infinitamente grande. É, de resto, esta amplitude de objeto (a matéria em estudo por uma ciência) que introduziu talvez o maior problema da Física contemporânea: a descontinuidade entre a gravitação universal e a teoria da relatividade, fortemente escoradas no paradigma determinista, e a mecânica quântica, atômica e subatômica, marcadamente probabilística. Einstein morreu a tentar conciliar estes domínios e a maioria dos físicos de hoje não tem escapado a esse esforço: Stephen Hawking, Michio Kaku, entre outros. Quem já ouviu falar da teoria das cordas? É um bom tema de pesquisa para quem queira saber mais acerca da Física de hoje.

A amplitude do objeto da Física levou a que tenha sido designada por "Filosofia Natural" até à revolução científica no séc. XVI (com Galileu Galilei, 1564-1642), onde se consagrou como ciência única e autónoma, e mesmo até mais tarde. Esta abrangência levou a que a Física se aplicasse a múltiplos domínios do conhecimento, mas caracteriza-se ainda hoje por divisões historicamente fundamentais, entre elas a Mecânica (o estudo do movimento e das suas causas), a Termodinâmica (o estudo do "movimento" da energia) e o Eletromagnetismo (que estuda a eletricidade e o magnetismo). A estas, depois do início do século XX, há a acrescentar a Relatividade (que unifica os conceitos até aí independentes de espaço e tempo num sistema a quatro dimensões) e a Mecânica Quântica (abordagem probabilística à mecânica atômica e subatômica).

A **Mecânica** é a área da Física consagrada ao estudo do movimento (e da sua ausência). A Mecânica Clássica deve-se sobretudo a Sir Isaac Newton, que formulou as Três Leis do Movimento. A Mecânica descreve o movimento (enquanto variação da posição de um corpo no espaço entre dois instantes do tempo) e analisa as suas causas. A entidade que constitui causa de um



movimento (ou da sua ausência) designa-se por força. **Força** é a entidade que pode alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo, ou deformá-lo (a forma do corpo caracteriza também o seu estado). Em mecânica considera-se, portanto, também o estudo das deformações dos corpos como uma forma particular do efeito das forças. Neste quadro a terceira lei de Newton (Lei da ação/reação) é fundamental ao referir a força como a expressão da relação física entre dois corpos, bem como a segunda lei, que define força pela relação fundamental da dinâmica:

$$F=m.a$$

onde m é a massa do corpo sujeito à ação da força F e a a aceleração (taxa de variação da velocidade no tempo, ou seja, a taxa de variação do seu estado de repouso ou de movimento) a que fica sujeito.

Os seres vivos, como os desportistas, e os seus companheiros de cruzada no desporto, como por exemplo os cavalos, são entidades biológicas e por isso sujeitos a particularidades mecânicas (diga-se: biomecânicas) decorrentes da sua natureza. Os desportistas sujeitam-se normalmente a forças externas (produzidas por terceiros ou pelo envolvimento em reação às suas próprias ações) e produzem forças internas, maioritariamente através dos órgãos responsáveis pela produção de forças nos sistemas biológicos: os músculos. Mais: podem fazê-lo de formas diversas para atingir o mesmo fim dada a sua natural redundância (temos normalmente diferentes soluções para um mesmo problema). É importante referir aqui que as forças externas aplicadas sobre os sistemas biomecânicos são suscetíveis de se transmitirem para o interior do sistema biomecânico, apresentando-se também como forças internas.

Ora, o estudo das forças que são produzidas pelos sistemas biológicos e daquelas a que eles se sujeitam, bem como o estudo dos seus efeitos, constitui o objeto da Biomecânica.



OBJETO DE ESTUDO DA BIOMECÂNICA

O objeto de estudo da Biomecânica são as forças produzidas pelos sistemas biológicos e as demais a que estes se sujeitam, bem como os seus efeitos (deformações, movimentos acelerados e equilíbrios).



Estamos agora em condições de definir Biomecânica! Se relembrarmos o nosso exercício inicial de decomposição da palavra em “Bio” + “Mecânica”, Biomecânica consistirá no estudo do movimento (mecânica) dos seres vivos (entidades “bio”lógicas), das deformações a que se sujeitam e das suas causas: as forças. Poderemos também dizer que consiste no estudo das forças produzidas pelos seres vivos (internas) e pelas forças externas que atuam sobre eles e dos seus efeitos (movimentos, ausências de movimento e deformações).



· BIOMECÂNICA

A Biomecânica é a área da Biofísica (a disciplina que traduz o olhar da Física sobre os sistemas biológicos) que se dedica ao estudo dos seres vivos, ou sistemas biológicos, com base nos princípios, leis, meios e métodos da Mecânica.

Força e massa (ou peso, quando a massa é multiplicada pela aceleração da gravidade transformando-se numa força que nos atrai para o centro da Terra) são propriedades, ou características e capacidades do desportista, normalmente reconhecidas pelo treinador e muitas vezes preocupantes. Efetivamente os treinadores referem-se muitas vezes a situações de “peso excessivo”, ou de “falta de força” dos seus atletas e ocupam-se aturadamente com o treino da sua capacidade para produzir força através da contração muscular e de a fazer perdurar no tempo (resistência). Preocupam-se também com a capacidade do desportista se deslocar rapidamente de um lugar para o outro em qualquer terreno de prática, no que se habituaram a designar por “velocidade”. De facto, a capacidade de um desportista para se deslocar mais ou menos velozmente de um ponto para outro consubstancia a sua habilidade para mudar de posição num dado intervalo de tempo (velocidade), habilidade que é conseguida através da sua capacidade de aceleração (variação da velocidade por unidade de tempo), que, por sua vez, é função direta da força que consegue desenvolver e função inversa da sua massa (relativa ao quilograma-padrão), normalmente associada ao peso do sujeito ($P = m \cdot g$, onde g mede a aceleração da gravidade). **Tudo isto é Biomecânica!**

De facto, quando um nadador vê o **tempo** no quadro eletrónico à chegada de uma prova verifica que nadou a **distância** de prova a uma **velocidade** superior à de todos os seus adversários, vencendo-a. Quando o saltador em comprimento verifica que conseguiu alcançar uma **distância** de salto superior ao seu anterior recorde, ou quando o halterofilista constata que não consegue levantar uma dada **massa** (convertida em peso – uma força – pela sua multiplicação pela aceleração da gravidade local) por não ter sido capaz de desenvolver **força** suficiente, estamos sempre a falar de variáveis biomecânicas. Precisaremos de mais algum argumento para justificar o seu estudo no quadro da formação de técnicos desportivos?





Alguns autores sugerem que a Biomecânica consiste no estudo da Biologia através da Física. **NÃO É VERDADE!**

Tente agora explicar porquê! Já dispõe dos argumentos necessários para o fazer.



RESPOSTA:

O estudo da Biologia através da Física é o território da Biofísica, disciplina emergente de um espaço de interciências (Física e Biologia), que inclui a Biomecânica. O estudo dos fenómenos elétricos em ambiente biológico é objeto da bioeletricidade, como é o caso da eletrocardiografia (estudo da atividade elétrica do coração), da eletroencefalografia (estudo da atividade elétrica do cérebro), ou da eletromiografia – EMG (estudo da atividade elétrica dos músculos e dos respetivos elementos estimuladores, os motoneurónios). Da mesma forma, o estudo da acústica ou da ótica biológicas, são outros espaços da Biofísica que não da Biomecânica.

Em espaço desportivo, a Biomecânica, habitualmente referida como Biomecânica do Desporto, preocupa-se então com o estudo das forças em presença, e dos seus efeitos, nos espaços de realização desportiva, seja em treino, seja em competição, seja perspetivando a etiologia da lesão, ou a sua profilaxia, seja ainda estudando os equipamentos e os materiais à disposição, ou utilizados pelos praticantes.

As forças são a entidade mecânica que dá origem a movimentos, normalmente produzidas em ambiente biológico, como referido, pela atividade muscular. Os movimentos, nomeadamente os complexos de movimentos intersegmentares humanos em ambiente desportivo, constituem o que habitualmente se designa por técnica desportiva; isto é, o complexo de ações segmentares que têm por objetivo fazer deslocar o próprio corpo, ou um corpo ou engenho terceiros, que permitam a concretização do objetivo da atividade desportiva. Em síntese, no desporto perseguem-se objetivos através de movimentos intersegmentares, do corpo todo e de engenhos ou corpos terceiros, que são originados por forças (internas e externas). Todas estas entidades são objeto de estudo da biomecânica.

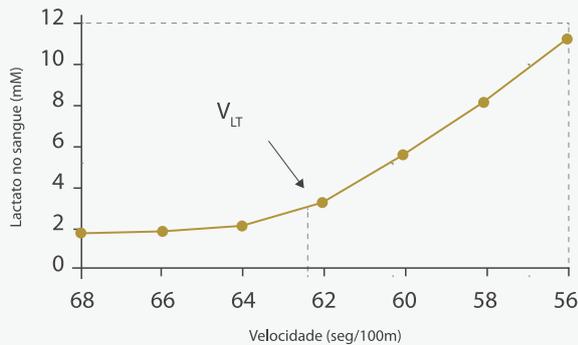
Estando o desporto essencialmente baseado no movimento – o movimento desportivo, a técnica – a **Biomecânica tem de ser entendida como uma disciplina nuclear**, já que é ela a primeira a quem deve ser reclamado o estudo da essência do próprio movimento.



! A Biomecânica é, por isso, imprescindível, para o entendimento da resposta fisiológica ao exercício.

Entretanto, as forças, nomeadamente as produzidas pela contração muscular, decorrem de fenómenos internos de transformação de energia química em energia mecânica. A energia química disponibilizada para a realização de trabalho muscular resulta do metabolismo dos nutrientes e é objeto de estudo da Bioquímica e da Fisiologia do exercício, áreas que, em Biofísica do Desporto e em articulação recíproca, preenchem o espaço comumente designado por Bioenergética.

Quando no desporto nos preocupamos com as questões relativas à disponibilização de energia para o trabalho biológico, ou com as limitações desta que constringem a manutenção de determinada intensidade de exercício, confrontamo-nos com parte das questões assumidamente “condicionais” do rendimento desportivo. Quando, por outro lado, nos ocupamos com a forma como essa energia é utilizada no decurso do movimento desportivo, dando origem ao encadeado de movimentos intersegmentares que designamos por técnica desportiva, confrontamo-nos com a parte das questões eminentemente biomecânicas e coordenativas do rendimento desportivo. A Biomecânica é, por isso, imprescindível, para o entendimento da resposta fisiológica ao exercício. Um dos exemplos mais eloquentes a este respeito prende-se com a interpretação da resposta da curva lactatemia/velocidade ao treino. Normalmente, um desvio da curva para a direita e para baixo traduz uma menor produção/acumulação de lactato para a mesma velocidade de deslocamento (marcha, corrida, nado, ...), o que poderia ser interpretado, numa perspetiva estritamente fisiológica, como um aumento da capacidade oxidativa dos músculos ativos, reduzindo a quantidade de piruvato transformado em lactato para uma dada intensidade de esforço, e/ou aumentando a capacidade de remetabolização do lactato pelas células vizinhas. A resposta, porém, pode ser muito mais trivial ou, tão simplesmente, pode situar-se noutra esfera de fenómenos e conhecimentos associados; a curva pode ter-se deslocado para a direita e/ou para baixo apenas porque o custo energético da tarefa foi reduzido, seja porque a eficiência com que as forças propulsivas são produzidas aumentou, seja porque foram reduzidas as forças resistivas que realizam trabalho negativo.



Curva lactatemia/velocidade obtida numa modalidade individual, cíclica e fechada, a natação. O desvio da curva para a direita e para baixo é comumente associado a uma melhoria dos desempenhos bioquímico e fisiológico subjacentes ao metabolismo aeróbio. Todavia, o mesmo efeito pode ser conseguido através de uma redução do custo energético, seja através da eficiência da produção de forças propulsivas, seja através da redução das forças resistivas opostas ao deslocamento do (neste caso) nadador.

A curva lactatemia/velocidade pode deslocar-se para a direita e para baixo, seja por indução fisiológica e bioquímica, seja por causa biomecânica, sendo imprescindível reunir competências nos dois domínios para mais convenientemente interpretar o movimento desportivo e as transformações das suas características distintivas ao longo do tempo: **é difícil entender-se o desporto, sem se perceber o movimento desportivo – a ação do sujeito**. E este não se percebe sem a análise biomecânica.

1.2 Objeto de estudo da Biomecânica

Como salientámos no ponto anterior, o objeto de estudo da Biomecânica pode ser definido da seguinte forma:



O objeto de estudo da Biomecânica são as forças produzidas pelos sistemas biológicos e as demais a que estes se sujeitam, bem como os seus efeitos (deformações, acelerações e equilíbrios).

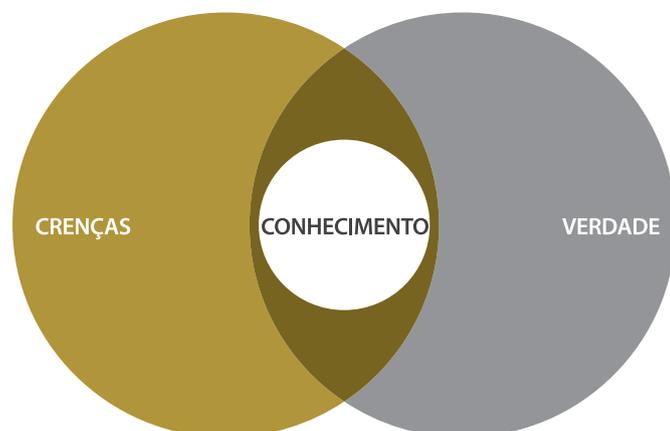
Constituem portanto objeto de estudo de Biomecânica todas as forças produzidas pelos sistemas biológicos, como, por exemplo:

- a força muscular;
- a força de contacto e de impacto exercidas por um sistema biológico sobre outro, ou sobre um sistema não biológico;
- as forças de compressão, torção e cisalhamento a que sujeitam as estruturas ósseas;
- as forças (tensões) osmóticas;
- as forças exercidas por fluidos (ar, sangue, linfa, etc.);
- as deformações provocadas por essas forças nos tecidos e materiais;
- os movimentos induzidos por essas forças;
- os equilíbrios determinados por essas forças.

Naturalmente que para além das forças em si mesmas, constituirá objeto de estudo da Biomecânica a forma **como essas forças são produzidas**, para além da forma como as mesmas são **atenuadas**, ou **compensadas**. O mecanismo da contração muscular e da transformação de energia química (dos substratos energéticos) em energia contrátil (mecânica) constituem, portanto, importantes domínios do conhecimento biomecânico. Dirão alguns que constituem igualmente importantes domínios do conhecimento da Fisiologia muscular; é verdade! Aqui estamos perante mais uma fronteira epistemológica, mais um espaço de tangência entre ciências, neste caso entre ciências relevantes para o entendimento da performance desportiva: as **Ciências do Desporto**.

A atenuação das forças a que se sujeita o sistema biomecânico é, também, objeto de estudo desta disciplina científica. Entre os mecanismos que o proporcionam podemos destacar as interfaces com o envolvimento, como por exemplo as “estafas” do ginasta, ou o calçado do maratonista, ou, inclusivamente, o piso do pavilhão desportivo ou da pista de atletismo, o tipo de relva do campo de futebol, etc. É verdade que estes “mecanismos” e os respetivos efeitos sobre o sistema biomecânico são, também, objeto de estudo da nossa disciplina. Dirão alguns que são também objeto da Engenharia e da Bioengenharia. Mais uma vez estamos de acordo! E mais uma vez estamos perante um espaço de interciências, um espaço de inter e de transdisciplinaridade característico da Epistemologia contemporânea (a área do conhecimento que estuda o conhecimento!); um espaço recorrente nas áreas de aplicação do conhecimento, como é o caso do desporto. Já que falamos de Epistemologia e de conhecimento, é interessante lembrar que aquela distingue crenças e conhecimento.

Proposições:



Modelo de conhecimento

- Crenças verdadeiras
- Crenças verdadeiras e justificadas (conhecimento)



No seu contexto, o conhecimento reporta-se ao conjunto de crenças verdadeiras e justificadas. Outras há que, sendo verdadeiras, não foram ainda justificadas e outras que não são verdadeiras de todo. Outros domínios da verdade não são ainda sequer conhecidos, nem suspeitados sob a forma de crenças não verificadas. O desporto é um espaço também de crenças de conhecimento; de crenças falsas e de crenças verdadeiras, algumas das quais já verificadas. É o que esperamos tratar na Biomecânica. Em alguns casos, estamos certos, apenas traremos à evidência a justificação de crenças que o treinador já possuía, mas não saberia justificar, outras vezes traremos novas convicções já fundamentadas.

1.3 Objetivos da Biomecânica do desporto

Os objetivos da Biomecânica do Desporto confundem-se com os de todas as demais áreas de aplicação da Biomecânica. Desenvolvem-se fundamentalmente em torno da **técnica** desportiva (do movimento desportivo), mas não se esgotam aí. Estendem-se aos **equipamentos e materiais desportivos** e à **profilaxia das lesões** desportivas. A respetiva terapêutica será, depois, objeto da Biomecânica clínica, ortopédica, fisiatrica, fisioterapêutica, etc.

Em primeiro lugar, é objetivo da Biomecânica do Desporto descrever o movimento desportivo, respondendo fundamentalmente a questões tais como:

- Como é o movimento? Como o realiza o campeão? E o principiante?
- Como se altera com a aprendizagem e com o treino?
- Como se altera com a fadiga?
- Como é que essa alteração varia, por sua vez, com o treino?
- Como tudo varia com as condições de prática? Com os adversários? Com os equipamentos? Com os materiais?

! (...) é objetivo da Biomecânica do Desporto descrever o movimento desportivo



Depois desta fase mais elementar da investigação biomecânica, a ciência progride para a **interpretação e explicação** (do que foi antes descrito, observado), de tal forma que possam ser obtidos nexos de causalidade que expliquem a tipologia dos movimentos. Pergunta-se, então:

- Porque é que o movimento é assim e não de outra forma?
- Porque se altera neste sentido e não noutro?
- Quais os mecanismos inibidores determinados pela fadiga que impõem o condicionamento observado?
- Como variam esses com o treino?
- Como variam também com as condições de prática? Com os adversários? Com os equipamentos? Com os materiais?

Conhecendo-se a “causa das coisas” torna-se então possível passarmos à etapa da criação de modelos (**modelação**) que substituam satisfatoriamente as condições reais de execução (normalmente numéricos, computacionais, mas também experimentais) que permitam, depois, a **simulação** de novas soluções de execução motora nas mais variadas condições de prática. A simulação consiste na realização virtual ou, pelo menos, “substitutiva”, de práticas ainda não necessariamente concretizadas para se aferir da sua exequibilidade e, sobretudo, das exigências que impõem.

Conseguindo-se um modelo suficientemente completo e aderente à realidade torna-se então possível impor-lhe constrangimentos e exigências novos, novas condições de prática e novas competências, para que se possa estudar a resposta do(s) sujeito(s) sem efetivamente o(s) obrigar a passar pela necessidade de a ensaiar sem que estejam reunidas as imprescindíveis condições de segurança e de êxito – a simulação.

E simulamos para quê?

Simulamos para transformar o movimento desportivo em ordem à sua otimização; para que o possamos tornar mais propenso ao êxito, à concretização eficaz do objetivo da modalidade desportiva, à observância do **PRINCÍPIO DA ENERGIA MÍNIMA** a minimização do custo energético da tarefa sem comprometimento da sua eficácia, de forma a preservar as reservas energéticas limitadas de que o desportista dispõe para tentar novos cometimentos.

Autoavaliação

Classifique como verdadeiro (V) ou falso(F) as seguintes afirmações:

- A Biomecânica é o estudo físico dos seres vivos.
- A Biomecânica é um domínio da Biofísica.
- Força é sobretudo um conceito acessório em Biomecânica.
- A modificação do estado de repouso ou de movimento, bem como a forma de um corpo, são independentes das forças que sobre ele atuam.



CHAVE F-V-F-F

GLOSSÁRIO

A

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)

Um dos maiores nomes da física e da ciência modernas.

B

BIOFÍSICA

A ciência que estuda os fenômenos naturais relativos aos seres vivos.

BIOLOGIA

Ciência do espectro das ciências naturais dedicada ao estudo dos seres vivos.

BIOMECÂNICA

Ciência que estuda o movimento dos seres vivos.

C

CONHECIMENTO

Conjunto de crenças verdadeiras, crenças que são justificadas.

E

EPISTEMOLOGIA

Ciência que estuda o conhecimento.

F

FÍSICA

A ciência que estuda os fenômenos naturais.

FORÇA

Entidade mecânica central que exprime a relação física entre dois corpos, que é responsável pela alteração do estado de repouso ou de movimento de um corpo, ou pela respetiva deformação.

FORÇA EXTERNA

Força produzida fora do sistema mecânico considerado.



FORÇA INTERNA

Força aplicada ou produzida no interior do sistema mecânico considerado.

I

ISAAC NEWTON (1642-1727)

Grande Físico, pai da Mecânica Clássica, que formulou as três Leis do Movimento e a Lei da Gravitação Universal.

M

MECÂNICA

Domínio da Física consagrado ao estudo do movimento, das suas características e das suas causas.

O

OBJETIVO DA BIOMECÂNICA

O objetivo da Biomecânica consiste em descrever e otimizar o movimento, os enghos e os envolvimento desportivos, evitando as lesões.

OBJETO DA BIOMECÂNICA

A Biomecânica estuda o movimento dos seres vivos e, por isso, também as suas causas: as forças produzidas pelos sistemas biológicos e aquelas a que eles ficam sujeitos.

T

TÉCNICA DESPORTIVA

Complexo de ações segmentares

que têm por objetivo fazer deslocar o próprio corpo, ou um corpo ou enghos terceiros, que permitam a concretização do objetivo da atividade desportiva.

TEORIA DO TUDO

O objetivo último da Física contemporânea – uniformizar num mesmo constructo teórico a física determinística e a física probabilística.



Índice

CAPÍTULO II.

2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA	19
2.1 CINEMÁTICA, ESTÁTICA E DINÂMICA	21
2.1.1 Cinemática	21
2.1.1.1 Referenciais de movimento, eixos e planos	22
2.1.1.2 Movimentos anatómicos nos diferentes planos e em torno dos eixos anatómicos	25
2.1.1.3 Variáveis cinemáticas	27
2.1.2 Estática	34
2.1.3 Dinâmica	40
2.1.3.1 Leis do movimento: leis de Newton	40
2.1.3.2 O caso particular do movimento de rotação – a equação do momento de força e a conservação do momento angular	46
2.1.3.3 Mecânica linear e mecânica angular	49
2.2 PROJÉTEIS	50
2.2.1 Queda dos graves	50
2.2.2 Quedas no plano (2D)	53
2.3 ATRITO	56
2.3.1 Coeficiente de atrito	57
2.3.2 Atrito estático	58
2.3.3 Atrito dinâmico ou cinético	60
2.4 TRABALHO, ENERGIA, POTÊNCIA E EFICIÊNCIA	60
2.4.1 Trabalho	60
2.4.2 Potência	61

CONTINUA

- 
1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA
 2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA
 3. A BIOMECÂNICA NA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DESPORTIVO E NO FORNECIMENTO DE *FEEDBACK* AO EXECUTANTE



Índice

CAPÍTULO II.

2.4.3 Energia	62
2.4.4 Eficiência: paradigma do gesto desportivo correto	62
2.4.5 Formas de energia mecânica: energia cinética e energia potencial	63
2.4.5.1 Energia cinética	64
2.4.5.2 Energia potencial	65
2.4.5.2.1 Energia potencial gravitacional	65
2.4.5.2.2 Energia potencial elástica	66
AUTOAVALIAÇÃO	67
GLOSSÁRIO	70
	VOLTAR

- 
1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA
 2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA
 3. A BIOMECÂNICA NA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DESPORTIVO E NO FORNECIMENTO DE *FEEDBACK* AO EXECUTANTE





OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Saber definir força e relacionar força e alteração do estado de repouso ou de movimento de um corpo.
- Definir aceleração e massa.
- Definir inércia e diferenciá-la nas translações e rotações.
- Explicar a reciprocidade da aplicação de forças.
- Distinguir um movimento de translação de um movimento de rotação.
- Definir um referencial de movimento e descrever um movimento num referencial cartesiano, considerando eixos e planos.
- Classificar os movimentos anatómicos com referência aos eixos e planos.
- Relacionar as variáveis tempo, posição, deslocamento, velocidade e aceleração.
- Distinguir cinemática, cinética, estática e dinâmica.
- Enunciar as condições fundamentais do equilíbrio.
- Definir alavanca e distinguir os diferentes tipos.
- Explicar a vantagem da roldana.
- Reconhecer o plano inclinado como máquina simples.
- Relacionar força, impulso e quantidade de movimento ou momento linear.
- Explicar a conservação do momento linear e angular e distinguir mecânica linear e angular.
- Explicar a mecânica do “corpo partícula” através do conceito de Centro de Gravidade.
- Explicar a Lei da Gravitação Universal e a trajetória de um projétil e de um grave em queda.
- Explicar a interação entre duas superfícies através da força de atrito e distinguir atrito estático e dinâmico.
- Relacionar trabalho e energia.
- Explicar o conceito de potência e o de eficiência e sua importância no desporto.
- Distinguir diferentes tipos de energia.

2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA

Neste ponto vamos procurar:

- destacar a importância das Leis do Movimento de Newton para o entendimento do movimento em geral e do movimento desportivo em particular;
- classificar os domínios de intervenção da mecânica (Estática, Cinemática e Dinâmica);
- classificar os tipos de movimento e os tipos particulares de movimento humano;
- aprofundar o estudo das leis do movimento de Newton e as suas consequências para o estudo do movimento desportivo;
- analisar o caso particular do lançamento de projéteis;
- analisar o caso particular da queda de graves;
- conhecer a força de atrito;
- definir e relacionar trabalho, energia, potência e eficiência.





Vimos antes que as **forças** são as entidades mecânicas responsáveis pela alteração do estado de repouso ou de movimento de um corpo de determinada **massa**. Quer isto dizer que, conhecendo-se as condições de partida (o movimento inicial, ou a observância de condições de repouso – ausência de movimento), através do conhecimento da resultante de todas as forças aplicadas ao sistema, será possível prever quais as respetivas repercussões mecânicas (alterações produzidas no estado de repouso ou de movimento do corpo considerado). Isto é verdade desde que se conheçam também as **caraterísticas dos corpos que se opõem à ação das referidas forças: as caraterísticas inerciais** ou, tão simplesmente, a **inércia** desses corpos, maioritariamente determinada pela massa do sistema biomecânico em presença.

As relações entre força (**F**), massa (**m**) e aceleração (**a** - alteração do estado de repouso ou de movimento de um corpo) foram inicialmente estabelecidas por Sir Isaac Newton (1642-1727) e constituem a relação fundamental da dinâmica (segunda lei do movimento) a que já nos referimos:

$$F=m.a$$

Na expressão anterior podemos perceber que uma dada entidade mecânica, a força **F**, quando não compensada por outra que se lhe oponha, altera o estado de repouso ou de movimento, acelera (**a**), o corpo de massa **m**. O efeito mecânico, a aceleração (**a**), ou a alteração do estado de repouso ou de movimento do corpo, será na direção e sentido da força resultante (**F**) e será tanto maior quanto mais intensa for a força (**F**) e quanto menos importante for a massa (**m**), a inércia, do corpo em questão.

Do que acabou de ser dito, entende-se que se poderá distinguir:

- ↘ casos em que nenhuma força atue sobre o corpo, ou em que todas se compensem entre si, apresentando uma resultante nula, não alterando o estado de repouso ou de movimento do corpo.
- ↘ casos onde a força resultante aplicada é diferente de zero e que, por isso, altera o estado de repouso ou de movimento do corpo.

O primeiro caso é objeto de estudo do domínio da mecânica que se designa por **ESTÁTICA**. O segundo é objeto de estudo da **DINÂMICA**. Por sua vez, a “forma” do movimento (trajetória, deslocamento, velocidade e aceleração), são objeto de estudo da **CINEMÁTICA**.



2.1 Cinemática, Estática e Dinâmica

Como vimos antes, as leis da Mecânica Clássica formuladas por Newton relacionam variáveis como:

- TEMPO
- DESLOCAMENTO
- ACELERAÇÃO
- POSIÇÃO
- VELOCIDADE
- FORÇA

Das seis variáveis antes enunciadas, as cinco primeiras reportam-se ao movimento por si só, enquanto que a sexta se refere à causa daquele, ou melhor, à causa da variação ou ausência de variação do estado de repouso ou de movimento.

Quando a Mecânica considera o movimento por si só, quando descreve a variação da posição de um ponto, de um segmento, ou de um corpo entre instantes diferentes do tempo, diz-se que a abordagem mecânica é **Cinemática** (o grego *kinema* = movimento). Quando se reporta às causas do movimento, as forças, o domínio da mecânica em questão designa-se por **Dinâmica** (do grego *dynamike* = forte). Quando se estudam as condições de ausência de movimento (o que é particularmente delicado dada a necessidade de o referenciar), ou de ausência de variação do estado de movimento, o espaço teórico é designado por **Estática** (do grego *statikos* = ficar parado). Esta subdivisão clássica da Mecânica obriga, todavia, a alguns esclarecimentos complementares. A Estática, por exemplo, consistindo no estudo da ausência de movimento, determina que as forças em presença se compensem reciprocamente, apresentando resultante (soma vetorial de forças) zero. Ora este é também o caso de uma forma particular de movimento: o **movimento uniforme**, caracterizado por velocidade constante, ou seja, com aceleração zero. Portanto, o movimento uniforme é simultaneamente objeto da Estática e da Cinemática e, em última instância, também da Dinâmica. Alguns autores consideram ainda que a Dinâmica se subdivide em Cinemática e **Cinética** (*Kinetics* em inglês), sendo este o domínio da dinâmica especificamente consagrado ao estudo das forças que originam movimento (que aceleram corpos, alterando o seu estado de repouso ou de movimento). Todavia, a expressão “Cinética” tem vindo a ser substituída por “Dinâmica”, prevalecendo sobretudo no domínio da engenharia.

2.1.1 CINEMÁTICA

Designa-se por Cinemática, como já referimos, o domínio da Mecânica consagrado ao estudo do movimento independentemente das suas causas. No estudo cinemático normalmente reduzem-se os corpos materiais a partículas ou pontos materiais, considerando-se que as dimensões do corpo não são relevantes e que todos os pontos que o constituem se movem de forma idêntica.



! (...) movimento uniforme é simultaneamente objeto da **Estática** e da **Cinemática** e, em última instância, também da **Dinâmica**.



A noção de movimento é uma noção relativa, que foi apreciavelmente aperfeiçoada com a Teoria da Relatividade. De facto, dois corredores de 100 m planos no atletismo, correndo lado a lado por uma medalha, podem não apresentar movimento relativo se as respetivas velocidades forem idênticas. Porém, ambos deslocam-se a uma velocidade apreciável relativamente à pista, sob pena de não concretizarem a sua prova. O mesmo pode acontecer entre duas motos viajando lado a lado numa estrada a alta velocidade. O facto de ambas não apresentarem movimento relativo não torna desprovida de perigo qualquer tentativa do passageiro de uma se transferir para a outra. Caso a operação falhe e ele caia, fá-lo-á de forma desastrosa considerando a velocidade de que vem animado relativamente ao solo.

Para que se possa conhecer o movimento de um corpo no espaço são necessárias duas coisas fundamentais:

1. por um lado é necessário definir um referencial (diz-se um referencial de inércia); e
2. por outro, é necessário que estejamos dotados dos instrumentos discursivos necessários para podermos descrever inequivocamente o movimento do corpo em relação àquele referencial.

2.1.1.1 REFERENCIAIS DE MOVIMENTO, EIXOS E PLANOS

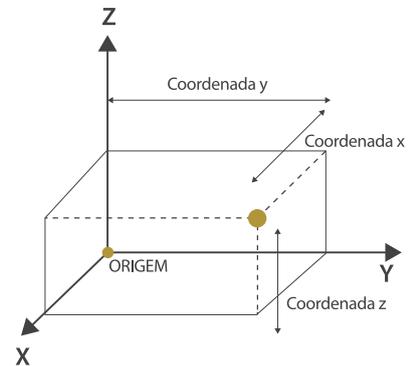
Diz-se que, há uns bons anos atrás, o pai da Geometria Analítica, o filósofo, físico e matemático francês René Descartes (1596-1650) estava deitado a tentar resolver uma insónia quando terá sido perturbado por uma mosca que girava caoticamente sem parar no espaço do quarto. Descartes tentou então perceber como poderia definir rigorosamente o movimento da mosca. A resposta ocorreu-lhe quando a mosca se aproximou do canto do quarto, junto ao teto. Aí, Descartes percebeu que conseguiria definir rigorosamente o movimento da mosca se, a intervalos de tempo tão curtos quanto possível, pudesse registar o afastamento da mosca relativamente a cada uma das 3 linhas que formavam o canto do quarto, resultando da interseção dos 3 planos definidos pela parede da cabeceira, pela

Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

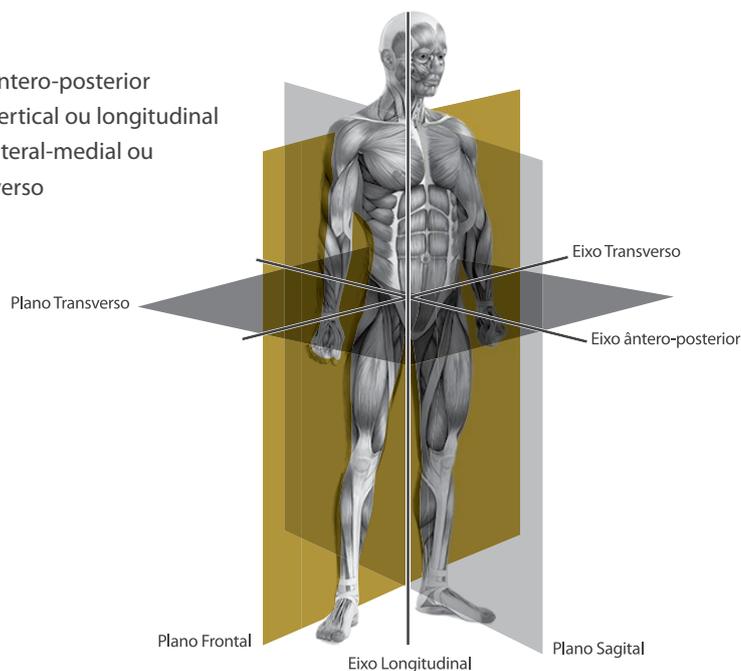
parede lateral e pelo teto. Nasceram assim as coordenadas cartesianas x , y e z , bem conhecidas de todos e parentes próximos das coordenadas geográficas... latitude, longitude e altitude.

Um sistema de coordenadas contém uma origem (o ponto relativamente ao qual cada posição e, por isso, o movimento, são referenciados) e três eixos normais entre si, que representam as três dimensões do espaço. A definição da origem é crítica, na medida em que estabelece o que se designa por **referencial de inércia** do movimento. As leis da mecânica clássica – as leis de Newton, nomeadamente – só são válidas quando o movimento for referenciado a um ponto estacionário ou animado de movimento uniforme, o qual se designa por referencial de inércia. De facto, definir movimento é bem difícil, já que repousando aparentemente imóveis numa cama, mas solidários com o planeta, não deixamos de rodar em torno da terra a uma velocidade de 360° em cada 24 h. Normalmente, um referencial diz-se absoluto se não apresentar movimento relativo em relação à Terra. Dir-se-á relativo, ou local, se se reportar ao corpo ou segmento considerado, independentemente do seu movimento relativo ao planeta.

Podemos chamar a estes sistemas de coordenadas o que entendermos. Todavia, eles são normalmente designados por x , y e z , ou eixos dos xx , dos yy e dos zz . Os matemáticos utilizam o eixo dos zz para representar a dimensão vertical, normal ao plano horizontal definido pelos eixos dos xx , que expressa a dimensão antero-posterior, e o eixo dos yy , que representa a dimensão lateral-medial. Em Biomecânica, todavia, a International Society of Biomechanics (ISB), estabeleceu como convenção:

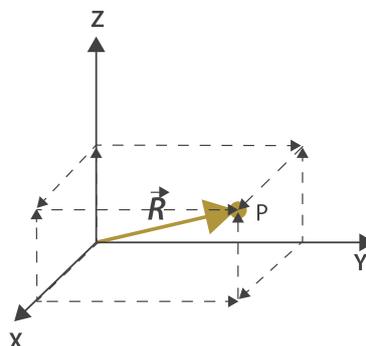


- xx – Eixo antero-posterior
- yy – Eixo vertical ou longitudinal
- zz – Eixo lateral-medial ou transverso



Num dado momento, a medida do afastamento à origem de um corpo, ou de um ponto **P** determinado num corpo, em cada eixo, dá-nos a localização tridimensional (espacial) exata do corpo, ou do ponto em questão.

A análise tridimensional (diz-se 3D) pode ser decomposta em três análises bidimensionais (2D) diferentes, cada uma definida por um par de eixos (diz-se, um par de coordenadas): x, y ; x, z ; y, z .



Na figura anterior, o vetor que une a origem ao ponto **P** designa-se por **vetor posição** (habitualmente designa-se por \vec{R}) e as suas componentes em X, Y e Z , designam-se por coordenadas x, y e z . Suponhamos que um determinado objeto ocupava inicialmente o ponto P_0 , de vetor posição \vec{R}_0 , passando depois a ocupar a posição P_1 , de vetor posição \vec{R}_1 . No espaço cartesiano representado por X, Y, Z , uma mudança de posição representaria um deslocamento caracterizável pelo vetor deslocamento (que uniria P_0 e P_1), nomeadamente $\Delta\vec{R} = \vec{R}_1 - \vec{R}_0$, o qual poderia ser representado pelas diferenças de coordenadas $\Delta x, \Delta y$ e Δz . Quando relativizado ao tempo (a quarta dimensão trazida pela teoria da relatividade), este deslocamento seria caracterizado também por uma dada velocidade média:

$$\vec{v}_{med} = \frac{\Delta \vec{R}}{\Delta t}$$



Tanto a posição como a velocidade são representadas por vetores.

Mas o que é um vetor?

Um **vetor** é um segmento de reta orientado: tem uma magnitude, uma direção e um sentido.

Graficamente um vetor representa-se por uma seta.

Simbolicamente, coloca-se uma pequena seta acima da letra (ou letras) que designam o vetor: \vec{a} ; \vec{v} ; \vec{AB}

O vetor que começa no ponto A e acaba no ponto B representa-se por \vec{AB} ; mas o vetor que começa no ponto B e acaba no ponto A representa-se por \vec{BA} . Verifica-se também que $\vec{AB} = -\vec{BA}$, ou seja, estes vetores são o oposto um do outro.



Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

Em Biomecânica, o plano definido pelos eixos x e y designa-se por **plano sagital**, o plano definido pelos eixos x e z designa-se por **plano transverso ou horizontal** e o plano definido pelos eixos y e z designa-se por **plano frontal ou coronal**. Quando aplicados ao corpo humano, o plano sagital divide o corpo nas metades direita e esquerda e define as áreas medial (central) e lateral (periféricas), o transverso nas metades superior (cefálica) e inferior (caudal) e o frontal nas metades anterior (facial) e posterior (dorsal).

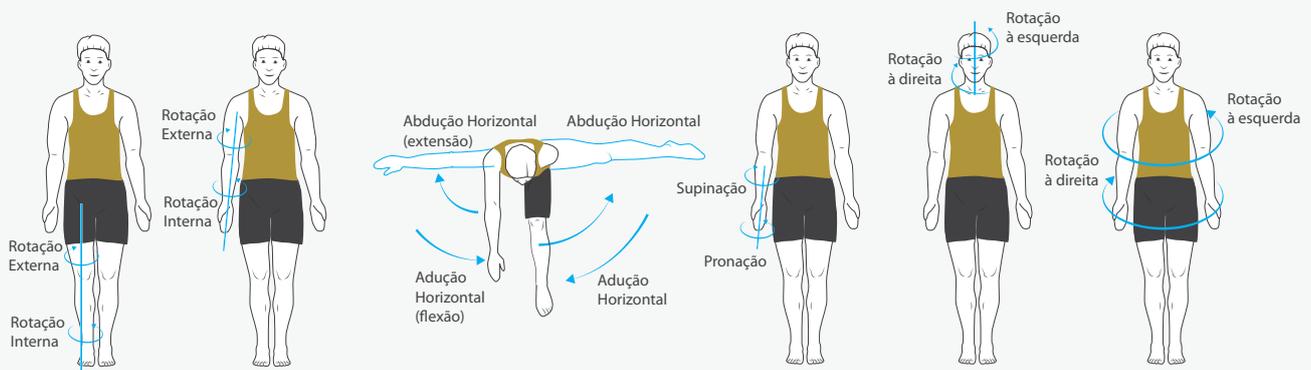
Para além dos planos referidos podem ser também definidos planos oblíquos, que não serão mais do que planos combinados, de dois ou mais. Poderão ainda ser definidos diferentes planos transversos a diferentes alturas, diferentes planos sagitais a diferentes larguras e diferentes planos frontais, a diferentes profundidades.

Em conformidade com a designação anatómica antes referida para os planos, também os eixos podem ser designados por nomes. Assim, o eixo dos xx pode ser designado por eixo sagital ou antero-posterior, o eixo dos zz por eixo coronal, frontal ou latero-medial e o eixo dos yy , por eixo longitudinal ou vertical.

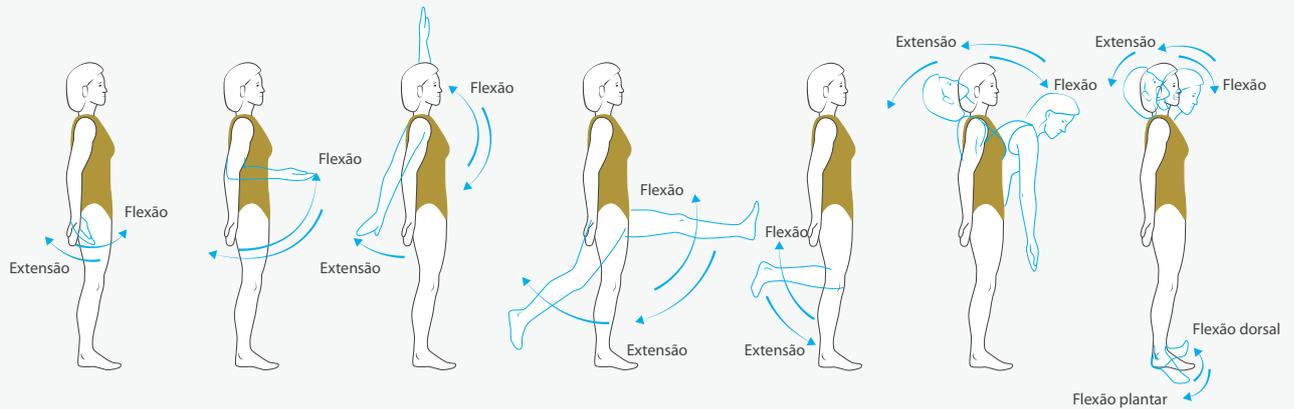
2.1.1.2 MOVIMENTOS ANATÓMICOS NOS DIFERENTES PLANOS E EM TORNO DOS EIXOS ANATÓMICOS

Os movimentos dos diferentes segmentos corporais em cada articulação realizam-se em torno dos eixos anatómicos referidos e são descritos nos diferentes planos.

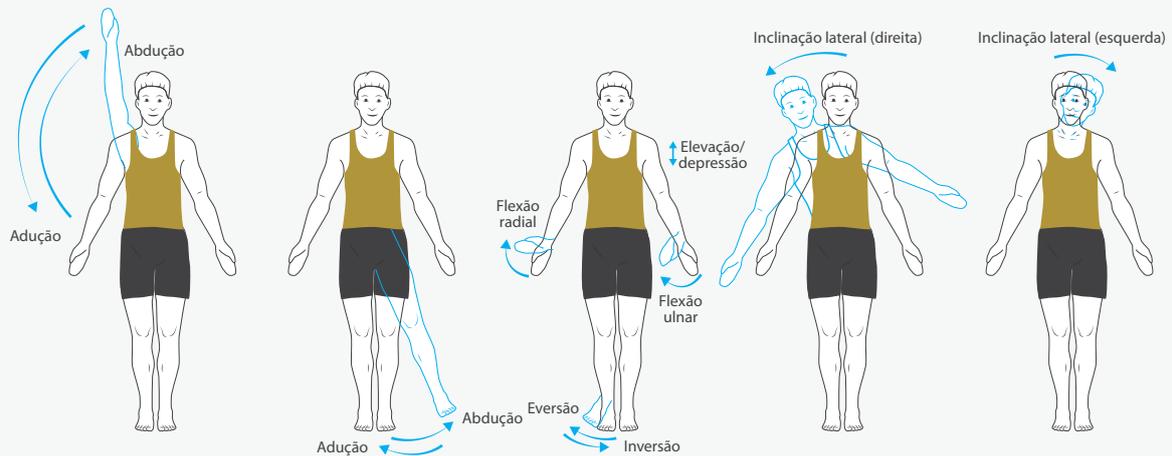
Os movimentos realizados em torno do eixo sagital ou vertical (yy) são descritos no plano transverso e designam-se por movimentos de rotação interna (pronação) e externa (supinação) se orientados em direção à área medial (central) ou à área lateral (externa) do corpo, ou rotação à direita e à esquerda, no caso dos movimentos de rotação do corpo todo.



Os que são realizados em torno do eixo coronal ou frontal (zz) descrevem-se no plano sagital e designam-se por movimentos de flexão e de extensão. A flexão ocorre quando o segmento mobilizado o é em direção à metade anterior do corpo e a extensão quando o movimento é realizado em direção à metade posterior do corpo.



Em torno do eixo dos xx realizam-se os movimentos de inclinação lateral (à direita e à esquerda), os movimentos de abdução (de afastamento segmentar ao plano sagital médio) e de adução (de aproximação ao plano sagital médio). Em torno do eixo dos xx realizam-se também os movimentos de inversão (para dentro) e de eversão (para fora) dos pés.



A posição inicial a partir da qual os movimentos são descritos designa-se por posição anatómica. Trata-se da posição assumida na figura anterior, com os membros superiores ao longo do tronco e com as superfícies palmares voltadas para diante.



2.1.1.3 VARIÁVEIS CINEMÁTICAS

Tomando por referência o sistema de coordenadas cartesianas antes discutido, podemos distinguir três ou quatro tipos de análise cinemática:

Cinemática
unidimensional

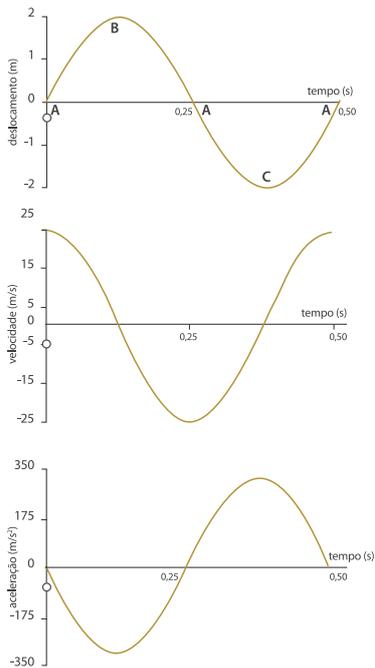
Cinemática
bidimensional
ou planar

Cinemática
tridimensional
ou espacial

Cinemática
combinada ou
composta
(linear e angular)

Em primeiro lugar, podemos referir a cinemática **unidimensional**. O movimento subjacente a esta abordagem circunscreve-se ao movimento retilíneo (numa direção apenas) de uma partícula (um corpo sem dimensões e, portanto, suscetível de ser contido numa dimensão) e, por isso, é o caso cinemático mais simples. Neste caso particular distinguem-se, enquanto variáveis, **a posição** que o corpo ocupa em cada instante do tempo, descrita pela coordenada na direção considerada (afastamento à origem), **a distância percorrida** e **o deslocamento** (idênticos no caso de não se registarem mudanças de sentido), **o tempo** em si mesmo, **a velocidade** (taxa de variação do deslocamento no tempo) e **a aceleração** (taxa de variação da velocidade no tempo). Um exemplo de cinemática unidimensional seria o estudo da corrida de 100 m em atletismo, supondo que o atleta conseguiria realizá-la sempre exatamente na direção definida pela linha reta entre o ponto de partida e o ponto de chegada. A posição de partida na direção considerada estabeleceria a origem do movimento. Depois, o mesmo seria descrito em relação a esta posição. Por exemplo, em determinado instante o atleta estaria a meio do percurso, a 50 m da partida e a 50 m da chegada. O investigador poderia medir o tempo que decorreu entre a partida e este momento e calcular a velocidade média do corredor na primeira metade da prova. Poderia depois medi-la também na segunda metade e comparar as duas. Mas poderia fazer mais: poderia seccionar cada metade da prova em cinco percursos de 10 m e calcular para cada um a velocidade média a que o corredor conseguiu cobrir. Obter-se-ia, desta forma, um gráfico de velocidade em função da distância percorrida. Poder-se-ia também descrever a variação da velocidade em cada instante do tempo e a respetiva variação entre dois instantes consecutivos. Obteríamos assim uma representação da aceleração e verificaríamos que o corredor começa por percorrer menor distância por unidade de tempo (menor velocidade), mas que a vai aumentando (acelerando) até ao momento em que obtém a velocidade máxima, a qual depois tenta manter até ao final, apesar de normalmente não o conseguir e se assistir a uma ligeira desaceleração (perda de velocidade com o decorrer do tempo) no final. Note-se que, nesta abordagem, os pequenos desvios que o atleta tenha realizado para a direita e para a esquerda, ou a possibilidade da corrida ter sido mais ou menos “saltada”, foram características que não foram consideradas, visto que a análise foi estritamente unidimensional.





Na figura seguinte vemos como se relacionam as variáveis, deslocamento, velocidade e aceleração, num exemplo de derivação gráfica. No primeiro gráfico vemos como varia o deslocamento no tempo. No caso, partindo da origem (ponto A), o corpo em questão vai-se afastando cada vez mais da origem (do lugar de partida), deslocando cada vez mais, mas cada vez a menor velocidade, até que a função deslocamento em afastamento atinge o seu máximo (ponto B) e começa a decrescer (aí a velocidade passa por zero), o que traduz um progressivo regresso à posição de partida passando, em cada intervalo de tempo, a estar cada vez mais próximo de regressar à origem, o que corresponde a uma variação negativa da velocidade. Aos 0,25 s o deslocamento chega a zero (o corpo em questão regressou ao lugar de partida, ponto A) e começa então a deslocar-se em sentido contrário, afastando-se cada vez mais da origem, mas na direção oposta. Quando deixa de se afastar nesta nova direção (ponto C) a velocidade volta a zero e passa a crescer em sentido positivo à medida que o corpo regressa à posição de origem.

A variação da velocidade no tempo (aceleração) está representada no terceiro gráfico. Sempre que a variação da velocidade no tempo é mais pronunciada, a aceleração cresce, sempre que acontece o contrário, a aceleração decresce.



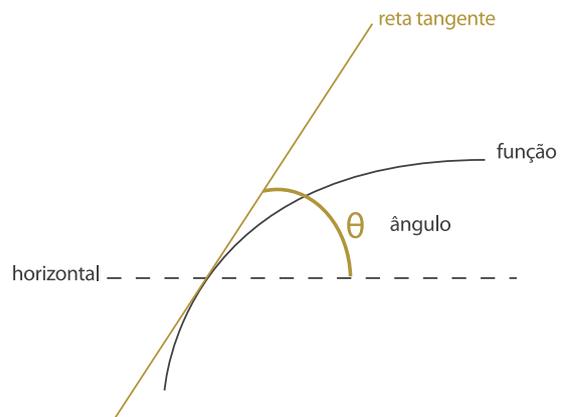
DERIVADA

Pela análise dos gráficos anteriores verificamos que a velocidade é a taxa de variação da posição no tempo e que a aceleração é a taxa de variação da velocidade no tempo. A operação matemática que nos traduz a taxa de variação de uma quantidade chama-se **derivada**.

Graficamente, a derivada pode ser interpretada como a inclinação em relação à horizontal (habitualmente chama-se declive) da reta que é tangente à função no ponto considerado.

Numericamente corresponde à tangente do ângulo (θ) que a referida reta faz com a horizontal.

Simbolicamente, se a função for $f(x)$, então a derivada representa-se por $f'(x)$.



Em segundo lugar, depois da cinemática unidimensional, podemos referir a **cinemática planar, ou bidimensional, ou ainda 2D (a duas dimensões)**.

Neste caso consideramos o movimento de um corpo a duas dimensões, reduzindo-o a ele mesmo também a essas duas dimensões: x e z (comprimento e

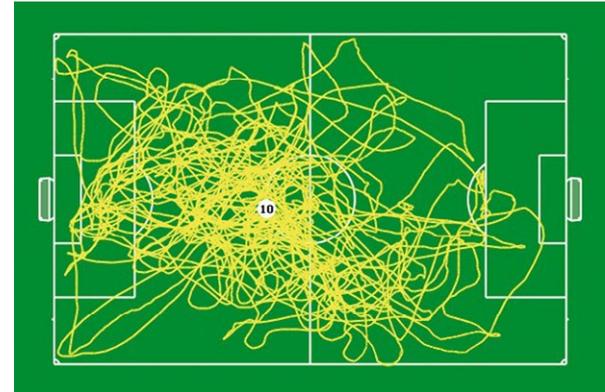


Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

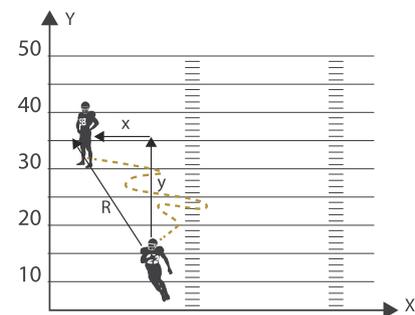
largura), por exemplo. No caso deste exemplo descreveríamos a cinemática do corpo no plano horizontal, ou no plano de referência do solo. Aqui já perceberíamos as pequenas oscilações da trajetória de corrida para a direita e para a esquerda. Se a análise 2D fosse realizada não no plano transversal, mas no plano sagital (vista lateral da corrida, considerando-se as dimensões antero-posterior – x – e vertical – y), poderíamos, em contrapartida, apreciar se a corrida fora mais ou menos saltada e se esse efeito foi mais evidente nas fases iniciais, intermédias, ou finais do evento. Outro exemplo de uma análise cinemática 2D seria a monitorização do deslocamento de um jogador de futebol durante um jogo no plano transversal (do solo). Seria a perspectiva que teríamos se olhássemos o jogo de futebol exatamente de cima, a partir do ar. Consideraríamos, portanto, o deslocamento de um jogador no plano do campo, definido pelo seu comprimento e largura. Neste caso teríamos uma boa perspectiva de qual a distância que cada jogador percorre por partida e em que zonas do campo ele se desloca preferencialmente, mas não teríamos qualquer informação relativamente a quanto ele salta e quantas vezes salta por jogo. Para percebermos isso seria necessário realizar uma análise no plano sagital ou no plano frontal e não no plano transversal. Neste caso particular as variáveis cinemáticas de interesse seriam a posição, a distância percorrida, o deslocamento, a velocidade e a aceleração. A maior particularidade decorreria da possível dissimelhança entre distância percorrida e deslocamento. A distância total percorrida corresponderia à variação total acumulada da posição, momento a momento, enquanto que o deslocamento seria medido entre a posição inicial e a final. Por exemplo, numa prova de natação acima de 50 m em piscina de dimensões olímpicas, o deslocamento longitudinal é sempre igual a zero (a posição inicial e final são as mesmas), enquanto que a distância total percorrida corresponde à distância de prova: 100 m, 200 m, ..., 1500 m. Esta particularidade cinemática abre ainda espaço à distinção entre velocidade e rapidez. A primeira corresponde à derivada do deslocamento e a segunda à derivada da distância percorrida. Em termos mais simples, a primeira corresponderia ao deslocamento dividido pelo tempo e a segunda à distância percorrida dividida pelo tempo gasto para a percorrer. Em língua inglesa a distinção estabelece-se entre *velocity* e *speed*. Na figura seguinte vemos uma ilustração planar (2D) da diferença entre distância percorrida e deslocamento de um jogador de futebol americano.

\vec{R} é o vetor deslocamento do jogador, decomponível nas suas componentes x e y. A tracejada é representada a trajetória seguida pelo jogador, cujo comprimento é a distância total percorrida nesse deslocamento.

Para além da **cinemática uni e bidimensional distingue-se ainda a cinemática tridimensional, ou espacial, ou 3D**. Neste caso particular consideram-se todas as três dimensões cartesianas do espaço. O exercício que realizámos quando passámos da cinemática unidimensional para a bidimensional pode agora ser feito da cinemática 2D para a 3D. Distância percorrida e deslocamento têm de



Análise cinemática 2D. Monitorização do deslocamento de um jogador de futebol durante um jogo no plano transversal.



! (...) muitas das lesões do corredor decorrem dos movimentos de pronação e supinação...

ser medidos no espaço, daí resultando a respetiva expressão em coordenadas x , y e z , que, uma vez referidas ao tempo, dão azo à consideração de valores de velocidade e aceleração em cada dimensão. Um balão de ar quente, ao iniciar o seu movimento, varia sobretudo a sua posição em y e ligeiramente também em x e em z , mas quando atinge a altitude desejada desloca-se preferencialmente na direção do vento (mais em x , ou mais em z , consoante a trajetória descrita).

A maioria dos movimentos desportivos, tal como a maioria dos movimentos humanos, são realizados em três dimensões. Alguns, porém, podem ser satisfatoriamente reduzidos a duas dimensões. Os movimentos de marcha ou de corrida, por exemplo, podem ser razoável e satisfatoriamente descritos no plano sagital, já que são relativamente poucos e pouco expressivos os movimentos latero-mediais. Porém, muitas das lesões do corredor decorrem dos movimentos de pronação e supinação, descritos no plano frontal e de muito reduzida expressão quando comparados com os demais. Por isso, sempre que possível, o estudo do movimento desportivo, se com ambições a ser completo, deverá ser realizado preferencialmente em três dimensões.



Para além das cinemáticas uni, bi e tri dimensionais, distinguimos também a **cinemática composta ou combinada: linear e angular**. Na cinemática angular reconhece-se também uma expressão uniaxial (quando o corpo roda em torno de um eixo), biaxial (quando roda em torno de dois eixos simultaneamente), ou triaxial (quando roda em torno de três eixos ao mesmo tempo). Estes eixos poderão ser os **eixos cartesianos** antes descritos, ou **eixos oblíquos**. Por exemplo, a Terra roda sobre si mesma em torno de um eixo oblíquo em relação ao plano da sua órbita, falando-se da inclinação do eixo da Terra, que justifica dias maiores e menores em função das estações do ano.

Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

No caso da cinemática angular, ou circular, as variáveis de interesse continuam a ser a posição (neste caso designada por posição angular ou orientação espacial), o tempo, o deslocamento angular (medido em parcelas angulares dos 360° que definem uma circunferência, ou nos seus equivalentes em radianos), a velocidade angular, a aceleração angular e centrípeta e o período.

O deslocamento angular θ define-se de forma similar ao deslocamento linear, mas não considerando um vetor deslocamento; antes um ângulo de deslocamento. A relação entre o deslocamento angular e o deslocamento linear correspondente é dada por $\theta r = s$, onde r = raio da circunferência na qual o movimento é descrito e s o deslocamento linear associado (estando θ expresso em radianos). Da mesma forma que vimos para o movimento linear, a velocidade angular é dada pela taxa de variação do deslocamento angular no tempo (expressa em radianos por segundo):

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t$$

A aceleração angular será, por sua vez, dada pela taxa de variação no tempo da velocidade angular (expressa em radianos por segundo ao quadrado):

$$\alpha = \Delta\omega / \Delta t$$

Importa sublinhar que a utilização de ângulos decorre da necessidade de simplificação do problema associado ao facto de, em cinemática angular, os vetores deslocamento, velocidade e aceleração se alterarem continuamente não apenas em magnitude mas também em direção (e sentido).

Para além dos parâmetros anteriores, caracterizadores do movimento angular, que dispõem de correspondentes no movimento linear, importa ainda considerar a **aceleração centrípeta (ou normal, ou radial)**, que decorre da necessidade do corpo em questão se sujeitar a uma força centrípeta (que o “puxa” para o centro da trajetória) e que determina a continuada variação da direção do vetor velocidade linear. A aceleração centrípeta (a_c) pode ser expressa pela equação (dada em metros por segundo ao quadrado):

$$a_c = \omega^2 \cdot r = v^2 / r$$

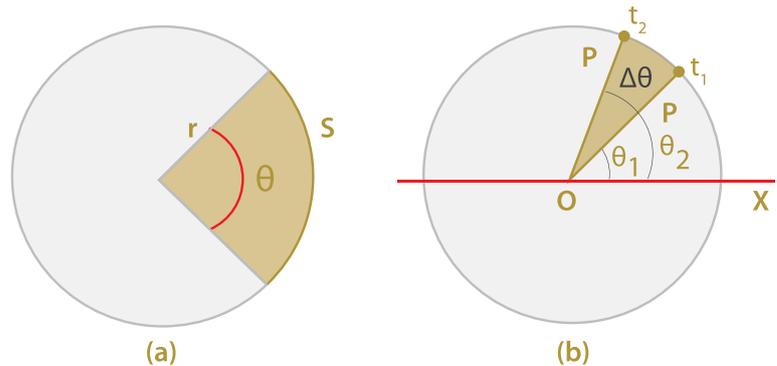
O **período** (T) é definido pelo intervalo de tempo que o móvel gasta para descrever uma revolução (um deslocamento angular de uma volta completa) em torno da circunferência, o qual só se considera no caso do **movimento circular uniforme**. A frequência (f , expressa em Hz – Hertz – ou ciclos por segundo), corresponde ao número de voltas efetuadas por unidade de tempo e é o inverso do período ($T = 1 / f$). Tal como para o movimento linear, distingue-se igualmente o movimento circular uniformemente acelerado (com aceleração angular constante) e o movimento circular variado (com aceleração variável).



Muitos dos movimentos desportivos são movimentos combinados, 3D e triaxiais, os mais complexos de entre todos! Requerem, por isso, muitos esforços de simplificação para que possam ser detalhada e conclusivamente estudados. Neste sentido, o que normalmente se faz é decompor o movimento nas suas dimensões linear e angular e estudá-las separadamente. Todavia, os esforços da investigação científica em Biomecânica do Desporto vão no sentido do desenvolvimento de ferramentas capazes de proceder à investigação integrada do movimento e capazes, também, de proporcionar *feedback* rápido ao executante e ao treinador.

As cinemáticas linear e angular entrecruzam-se efetivamente no nosso quotidiano. Na generalidade, o ser humano, por exemplo, translaciona-se através da realização de movimentos intersegmentares angulares, pelo que importa conhecer as suas relações, nomeadamente as relações entre velocidade angular (ω) e velocidade linear (v).

Tomemos o exemplo de um martelo de atletismo para ser lançado após uma sucessão de molinetes. Durante estes, o movimento pode ser satisfatoriamente representado pela figura seguinte.



A distância linear S percorrida pelo engenho em dada fase de um molinete, que corresponde ao arco do círculo de raio r e de circunferência $C = 2\pi r$, contido no ângulo θ (em graus) e é dada por:

$$S = \theta \frac{2\pi r}{360^\circ}$$

Se expressarmos θ numa outra unidade para ângulos (a unidade do SI) – radianos, sendo que $1 \text{ rad} = 57.3^\circ$, ou $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$ –, S é dada por:

$$S = r \theta$$

Sendo S a distância linear (curvilínea) percorrida pelo engenho tanto mais elevada, para um mesmo deslocamento angular θ , quanto maior for r , também maior será a velocidade linear do corpo num dado intervalo de tempo t (a razão



distância/tempo expressa a velocidade linear do corpo nesse intervalo de tempo). Do mesmo modo, a **velocidade angular** (ω) média será, como já vimos, expressa pela razão entre o deslocamento angular θ e o tempo t considerado:

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t$$

No campo (b) da figura anterior percebe-se que a partícula P está no ponto OXP₁ no instante t_1 , formando um ângulo θ_1 com a horizontal e no instante t_2 está no ponto OXP₂, formando agora um ângulo θ_2 com a horizontal. No intervalo $\Delta t_{t_1-t_2}$ o deslocamento angular foi $\Delta\theta$, podendo-se agora facilmente determinar a velocidade angular ω . Note-se que, para a mesma velocidade angular, quanto maior o afastamento do ponto considerado relativamente ao eixo de rotação, maior a velocidade linear tangencial correspondente (v):

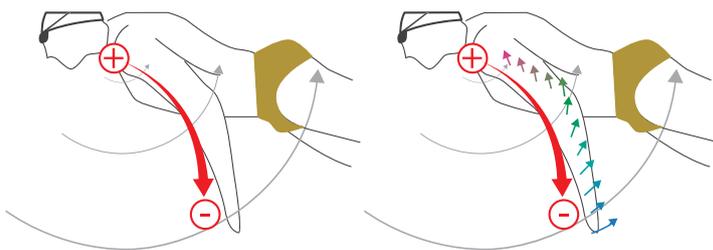
$$dS = r d\theta \quad \text{e} \quad dS / dt = r (d\theta / dt)$$

sendo:
 $v = r \omega$

A unidade do SI para a velocidade angular são radianos por segundo (rad/s). Outras unidades são às vezes utilizadas, como rpm (rotações por minuto = 60 rpm = 1 rotação por segundo = 360 ° por segundo = 2π rad por segundo).

Tentemos agora mostrar outras aplicações ao desporto dos conceitos desenvolvidos:

1. Quando um nadador realiza a sua braçada de crol em torno da articulação do ombro, com o membro superior mais ou menos estendido, a velocidade linear da porção superior do braço relativamente à água (parada) será inferior à velocidade linear observada na porção inferior (distal) do antebraço e na mão. Considerando a relação inversa entre velocidade de escoamento de um fluido e a pressão no seu seio (enunciado do Teorema de Bernoulli), a pressão do fluido em torno do membro superior será mais elevada nas proximidades do ombro do que nas proximidades da mão, permitindo esperar que ocorra um escoamento axial ao longo do membros superior que altere as condições de produção de forças propulsivas hidrodinâmicas pela mão e pelo antebraço.



Na Figura é esperado que a velocidade linear cresça em direção à mão, fazendo com que a pressão exercida pela água decresça nessa mesma direção (Toussaint et al., 2002²).

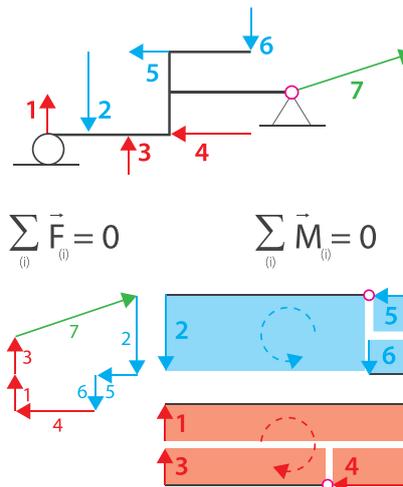
² Toussaint, H.M.; Van Den Berg, C.; Beek, W.J. (2002). Pumped-up propulsion during front crawl swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercises*, 34: 314-319



2. Um outro exemplo de aplicação prende-se com a desejada grande amplitude dos movimentos de “bater”, como no ténis, no baseball, ou no remate, por exemplo de voleibol. Quanto maior o afastamento do ponto de batimento relativamente ao eixo de rotação, maior será a velocidade linear para uma mesma velocidade angular; será também superior a quantidade de movimento linear do elemento que bate e, conseqüentemente, maior o efeito esperado sobre o engenho (normalmente a bola).

2.1.2 ESTÁTICA

A Estática é o domínio da Mecânica que estuda sistemas sob a ação de forças e de momentos de força ($M_f = I \cdot \alpha$) que se equilibram entre si e que, por isso, apresentam resultante nula. Neste caso particular, portanto (e em obediência ao princípio fundamental da dinâmica, $F = m \cdot a$, e à sua expressão angular $-M_f = I \cdot \alpha$) não ocorre alteração do estado de repouso e de movimento (linear ou angular) do corpo submetido à ação das forças e dos momentos de força referidos. Quer isto dizer que a aceleração (tanto linear como angular) a que estão submetidos estes sistemas é nula:



Com base no que referimos anteriormente, percebemos então que, neste contexto, apenas acontece uma de duas situações:

- (i) se o corpo se encontra imóvel, permanecerá imóvel sob a ação do sistema de forças em questão; e
- (ii) se se encontra em movimento, animado de uma dada velocidade constante v , manter-se-á em movimento uniforme à referida velocidade v .



Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

No desporto, as situações de equilíbrio e, particularmente, as exigências de equilíbrio são várias. Nalgumas modalidades, naturalmente, esta questão é mais importante do que noutras. Na ginástica artística, por exemplo, e especialmente na trave olímpica, as questões da estática colocam-se com particular acuidade.

Diz-se normalmente que o sujeito se encontra em equilíbrio quando a projeção vertical do seu CM cair dentro da base de sustentação. A base de sustentação é um conceito simples de compreender. Quando uma bailarina se encontra em “pontas”, apoiada apenas sobre a extremidade distal do hálux (o dedo grande do pé), a sua **base de sustentação** é mínima, sendo menor do que quando se apoia apenas com um pé mas com a zona do antepé (zona anterior da superfície plantar) – vulgo “em bicos de pés” –, ou com toda a superfície plantar apoiada. Maior seria a base de sustentação com ambos os pés apoiados no solo e maior ainda seria se ambos estivessem maximamente afastados, ou ainda se a bailarina estivesse em posição quadrúpede (com as mãos e os pés apoiados no solo).



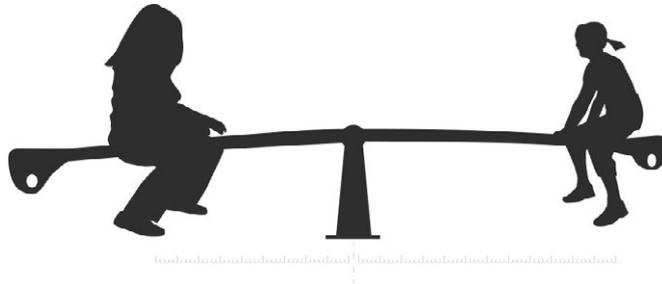
Na verdade, um corpo encontra-se em equilíbrio gravitacional estático quando a **linha de ação da gravidade**, a vertical que passa pelo CM, for coincidente com a linha de ação da força de reação do solo, que tem ponto de aplicação no **centro de pressão**. Quando se observa uma não coincidência entre ambas, ocorre a formação de um momento de força resultante que tende a rodar o corpo para uma posição de maior estabilidade. Se o indivíduo, porém, pretende manter a posição inicial (a posição bípede, por exemplo), deverá desenvolver forças musculares que produzam movimentos articulares (neste caso, primeiro em torno do tornozelo) que posicionem as duas forças na mesma linha de ação, para que a resultante seja zero e o equilíbrio se verifique.

Para além do equilíbrio de forças, o equilíbrio de momentos de força é decisivo em desporto. Numa sala de exercício, por exemplo, um sujeito produzirá uma contração isométrica (sem movimento associado) do bíceps braquial, quando o momento de força deste músculo (produto da componente da força



O braço de uma alavanca, como referimos a propósito dos momentos de força, é a distância da força ao eixo, medida na perpendicular à linha de ação da força.

desenvolvida normal ao antebraço pelo afastamento da inserção do músculo ao centro articular do cotovelo) for igual ao produto do peso do antebraço e mão, mais o peso da carga aposta na mão, multiplicados pela distância do CM total do antebraço, mão e carga ao eixo articular. Neste caso percebemos claramente que o bíceps braquial está em clara desvantagem mecânica, tendo sempre de desenvolver uma força superior à carga a vencer. Este problema é em tudo idêntico ao que ocorre num “balancé” quando uma criança magra e uma gordinha brincam: para equilibrar o sistema o gordinho tem de se sentar bem mais próximo do eixo de rotação – o apoio central do balancé.



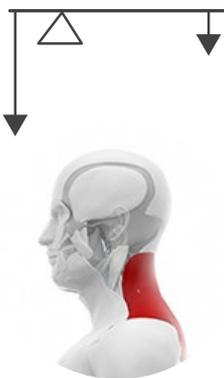
No caso do exemplo do balancé apresentado na figura anterior, diz-se que o braço da alavanca do peso da menina mais magra é maior, e que é menor o braço da alavanca do peso da menina mais gorda. O braço de uma alavanca é a distância da força ao eixo, medida na perpendicular à linha de ação da força. Na figura anterior, para que o equilíbrio se mantenha é necessário que:

$$P_g \cdot r_g = P_m \cdot r_m$$

Na expressão anterior, P e r representam respetivamente os pesos das duas meninas (m a magra e g a gordinha) e as distâncias das respetivas linhas de ação ao centro do balancé.

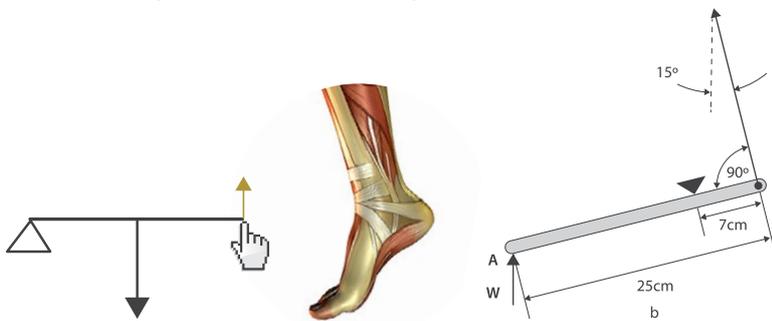
Pensemos agora na tarefa da menina magra; o seu objetivo é mover a menina gorda (resistência). Para o efeito ela usa o seu peso como força motora (potência) e o balancé como **alavanca**. A distância ao eixo de rotação medida desde o ponto de aplicação do peso da menina magra chama-se braço de alavanca da potência. A distância ao eixo medida desde o ponto de aplicação do peso da menina gorda chama-se braço de alavanca da resistência.

No caso em apreciação, a alavanca diz-se **interfixa (ou de primeira ordem ou classe)**, porque o fulcro (ou eixo), se encontra “entre” a potência e a resistência. Um exemplo anatómico de alavanca interfixa é o equilíbrio da cabeça. A projeção vertical do CM da cabeça é anterior (à frente) do centro articular, colocado sensivelmente no centro da cabeça e os músculos motores responsáveis pela horizontalidade do olhar na posição bípede são os músculos da nuca (potência).

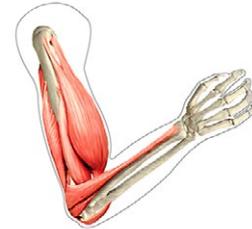
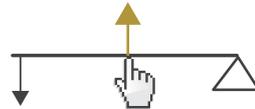




Há, todavia, outros tipos de alavancas a considerar. As *inter-resistentes* (ou de *segunda ordem, ou classe*), têm como exemplo o que acontece no carrinho de mão. A ação de remar é também considerada como envolvendo uma alavanca inter-resistente: o fulcro na água (ponto fixo), a resistência hidrodinâmica aplicada na ligação de remo ao barco e a potência no apoio das mãos do remador. Alguns autores, porém, consideram que esta se trata de uma alavanca interfixa, sendo o fulcro a ligação barco/remo, a resistência aplicada na extremidade imersa e a potência na outra extremidade. Curiosamente este não é um problema de fácil resolução. O mesmo se passa com o pé quando nos encontramos em “bicos-de-pé”. Alguns autores consideram tratar-se de uma articulação interresistente (fulcro na ponta do pé – região metatarsiana –, resistência na projeção vertical do CM do corpo – algures entre a região do antepé e do retro-pé – e potência no tendão de Aquiles, na região do calcâneo), enquanto que outros consideram-na uma alavanca interfixa (resistência na região de contacto com o solo, onde se aplica a força de reação do solo sobre a qual o sujeito se apoia, fulcro no centro articular do tornozelo e potência no tendão de Aquiles).



O terceiro tipo de alavancas são as interpotentes (ou de terceira ordem, ou classe). Apresentam o ponto de aplicação da potência entre o fulcro e a resistência. É o caso do antebraço ao ser fletido sobre o braço por ação do bicipedes braquial.



Arquimedes (287 a.C. - 212 a.C.), matemático, físico e inventor grego, já conhecia o princípio da alavanca. Ele escreveu ao rei Hierão de Siracusa: "Dê-me uma alavanca e um ponto de apoio que eu levanto a Terra".



PROPOSTA DE TRABALHO

PERGUNTA

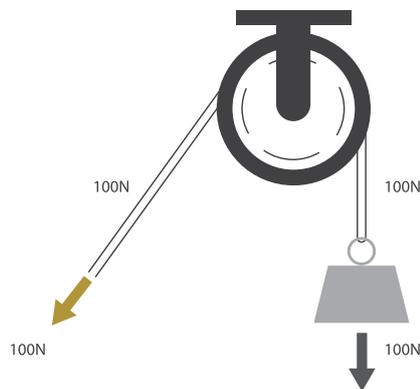
Que alavanca escolheu Arquimedes, na figura anterior, para mover o mundo?

DESAFIO

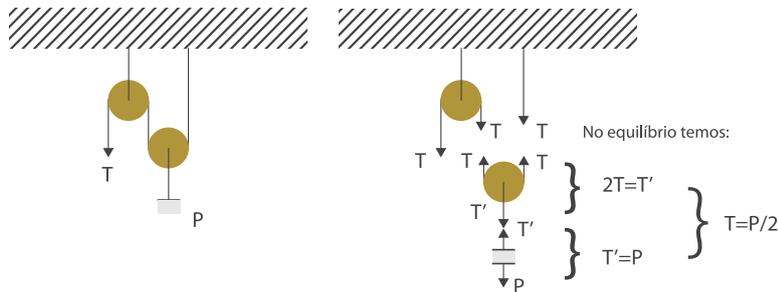
Que outras alavancas de cada um dos três tipos pode encontrar no corpo humano? Explique em cada exemplo que escolheu a posição da potência, da resistência e do fulcro.

O estudo das alavancas é muitas vezes conduzido na estática, mas é naturalmente também determinante em dinâmica, quando os dois momentos de força não estão equilibrados.

Outra máquina simples muitas vezes estudada em estática e com óbvias implicações dinâmicas são os sistemas de roldanas. Uma roldana simples é muito útil para equilibrar uma carga exercendo força numa direção que não aquela em que a carga está aplicada:

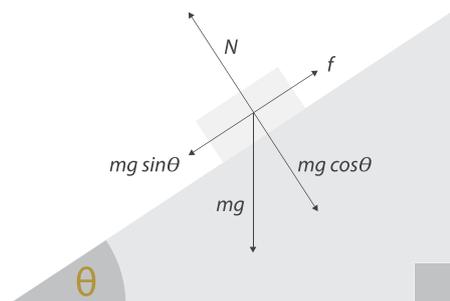


Todavia, se se utilizarem duas roldanas é possível mobilizar uma carga com um esforço correspondente a metade daquela:



Exemplos anatómicos de roldanas no corpo humano são alguns casos em que o músculo se encontra de um lado da articulação, junto a um dos ossos, e o tendão faz a sua inserção do outro lado da articulação, no outro osso. Um caso em que isto acontece é o dos músculos extensores do joelho (*quadricipites femoris*): a força é feita numa direção, mas a sua aplicação no osso da perna é feita numa direção diferente.

Uma outra máquina simples muito útil é o **Plano Inclinado**. O Plano Inclinado permite realizar o mesmo trabalho aplicando menos força, mas aumentando a distância percorrida. O exemplo mais comum é o da rampa. É necessária a aplicação de menos força para elevar uma carga uma dada distância vertical se a mesma for progressivamente elevada através de sucessivos planos inclinados (rampas). Percorrer-se-á uma distância superior mas aplicando menos força:



No exemplo da figura anterior, para equilibrarmos o corpo no plano inclinado temos de aplicar uma força f de intensidade igual a $mg \sin \theta$, inferior ao peso - mg (o peso - mg - é decomposto na força normal $mg \cos \theta$ e na força tangencial $mg \sin \theta$) do corpo em questão, que teria de ser compensado no caso de um equilíbrio vertical da carga.



A **cunha** e o **parafuso** são também exemplos de máquinas simples e casos particulares da aplicação do Plano Inclinado, usados para reduzir a intensidade de uma força necessária para produzir um dado efeito.

No desporto, o plano inclinado é usado como noutras dimensões da vida. Da mesma forma que terá sido utilizado para construir as pirâmides, permitindo elevar grandes cargas com menos esforço, também permite aos alpinistas chegar ao topo das montanhas com menos esforço, apesar de os obrigar a percorrer distâncias mais longas.

A **engrenagem** e a **cremalheira** são outros exemplos de máquinas simples. Ambas também com grande aplicação ao desporto, por exemplo, ao ciclismo.

2.1.3 DINÂMICA

2.1.3.1 LEIS DO MOVIMENTO: LEIS DE NEWTON

As Leis do Movimento de Newton (1642-1727) são das formulações mais centrais da Mecânica Clássica (pré-relativística). Foram publicadas em 1687 (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*). A maior evidência que sustentou a formulação das leis de Newton foi a demonstração das Leis de Kepler (1571 - 1630) - que descrevem o movimento dos planetas - quando Newton combinou as leis do movimento com a **Lei da Gravitação Universal**.

Newton enunciou três leis para o movimento linear dos corpos. Depois, Euler (1707 - 1783) resolveu a relação fundamental da dinâmica de Newton para os movimentos de rotação, ou movimento angulares.



Primeira Lei do Movimento, ou Primeiro Princípio da Dinâmica

(Lei ou Princípio da Inércia)

O enunciado da 1.ª Lei do Movimento de Newton, em tradução livre, estabelece que:

UM CORPO PERMANECE IMÓVEL OU ANIMADO DE MOVIMENTO UNIFORME RETILÍNEO A NÃO SER QUE SOBRE ELE SEJA APLICADA UMA FORÇA RESULTANTE DIFERENTE DE ZERO.

Este princípio foi inicialmente formulado por Galileu Galilei e, depois, confirmado por Newton.

A inércia é, assim, a propriedade física da matéria (dos corpos dotados de massa) que determina a sua tendência para manter o estado de repouso ou de movimento que a caracteriza em determinado momento (ou que caracteriza a resistência que ele oferece a esse processo): se está imóvel tende a permanecer imóvel; se está em movimento tende a permanecer em movimento e com velocidade invariável (constante).



É curioso que muitas pessoas pensam, intuitivamente, que para que um corpo permaneça em movimento retilíneo uniforme é necessário que esteja sujeito a uma força. Não é! A ação de uma força é apenas necessária para alterar esse estado de movimento do corpo.

Dois exemplos simples do desporto:

1. Quando um desportista se encontra em movimento em associação a um outro corpo ou dispositivo (um cavalo, uma bicicleta ou um *skate*, por exemplo) e este último é subitamente frenado (acelerado negativamente), o desportista tende a ser projetado na direção do movimento inicial; tende a manter o seu estado de movimento, por efeito de inércia.
2. Qualquer engenho desportivo mantém-se imóvel se sobre ele não aplicarmos uma força. Uma bola permanecerá sempre imóvel na marca de grande penalidade se nenhuma ação se desenvolver sobre ela; se o jogador não a chutar, aplicando sobre ela (sobre a sua massa) uma força. E quanto maior for a massa da bola, mais difícil será colocá-la em movimento; será necessário aplicar uma força mais intensa para conseguir o mesmo efeito – maior é a sua inércia.



A noção de massa é, efetivamente uma noção abstrata e difícil de definir. Einstein fê-lo na sua relação com a energia na equação $E = m \cdot c^2$, já anteriormente referida, mas a forma mais habitual é exatamente pela razão inversa da variação com ela do efeito de uma determinada força que sobre ela se exerça, como veremos. Felizmente, a massa das bolas oficiais de futebol está standardizada, normalmente através da noção de peso. Esta é talvez a forma mais comum de nos aproximarmos da noção de massa: o peso de um corpo é a força com que ele é atraído num dado campo gravítico; no caso da Terra e ao nível do mar, os corpos deixados livres ficam sujeitos a uma aceleração de 9.8 m/s^2 para o centro da Terra, a chamada aceleração de gravidade. O peso do corpo é dado pelo produto da sua massa pela aceleração da gravidade:

$$P = m \cdot g$$



PROPOSTA
DE TRABALHO

ESTÁ AGORA EM CONDIÇÕES DE REALIZAR UM PEQUENO EXERCÍCIO DE VERIFICAÇÃO DE CONHECIMENTOS:

1. Distinga massa e peso de um corpo.
2. Defina inércia de um corpo e relacione-a com a massa desse corpo.

Diz-se que os corpos de massa mais elevada pesam mais e que os de menor massa pesam menos, sendo o peso, portanto, a medida da força com que a Terra atrai os corpos para si.

A unidade de massa do Sistema Internacional de Unidades (SI) é o quilograma (kg) – definido pelo quilograma-padrão guardado em França – enquanto que o peso, enquanto uma força, se expressa em Newtons (N) – a força de 1 N é a força necessária para acelerar em 1 m/s^2 uma massa de 1 kg. Como se percebe, massa e peso são noções muito frequentemente confundidas pelo senso-comum.



Segunda Lei do Movimento, ou Princípio Fundamental da Dinâmica

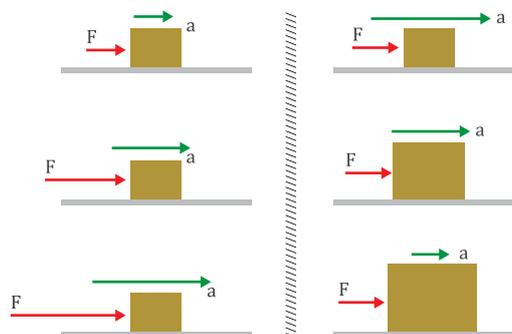
O enunciado da 2.ª Lei do Movimento de Newton, também em tradução livre, estabelece que:

A ALTERAÇÃO DO ESTADO DE MOVIMENTO DE UM CORPO SUBMETIDO À AÇÃO DE UMA FORÇA RESULTANTE DIFERENTE DE ZERO É INVERSAMENTE PROPORCIONAL À MASSA DO CORPO CONSIDERADO E DIRETAMENTE PROPORCIONAL À INTENSIDADE DA FORÇA MOTORA, REALIZANDO-SE NA DIREÇÃO E SENTIDO NOS QUAIS AQUELA FORÇA É APLICADA.

A equação que descreve a 2.ª Lei do Movimento é a já referida equação fundamental da dinâmica, ou equação do movimento:

$$F = m \cdot a$$

Na equação anterior, F representa a força resultante aplicada sobre o corpo, m a sua massa e a a **aceleração** a que fica sujeito ou, dito de outra forma, a **taxa** de variação do seu estado de repouso ou de movimento (por taxa entende-se a razão de variação em ordem ao tempo).





A equação fundamental da dinâmica também traduz, portanto, a relação entre a força resultante que atua sobre um corpo e a taxa de variação da sua quantidade de movimento linear, ou momento linear $p = m \cdot v$, já que a aceleração é a taxa de variação da velocidade e a massa se mantém habitualmente constante:

$$F = p' = (m \cdot v)' = m \cdot (v)' = m \cdot a$$

Lembremos neste momento, a propósito da equação anterior, as noções importantes de velocidade e aceleração:



Velocidade (\vec{v}) numa dada direção (x, y , ou z) é a taxa de variação temporal (a derivada no tempo) da posição (\vec{R}) que o corpo ocupa no espaço definido pelas dimensões x, y e z :

$$\vec{v} = \vec{R}'$$

ou seja:

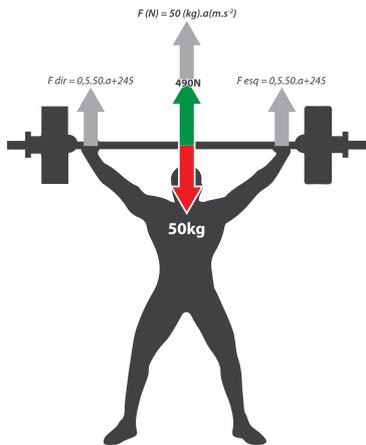
$$v_x = R'_x; v_y = R'_y; v_z = R'_z$$

Aceleração (a) é a taxa de variação temporal (a derivada no tempo) da velocidade de que o corpo está animado:

$$\vec{a} = \vec{v}'$$

Uma outra noção fundamental da dinâmica que decorre da 2.ª Lei do Movimento é a de **impulso** (I) de uma força. Podemos chegar à definição de impulso de uma força pelo seu efeito: a variação da quantidade de movimento linear: quando uma força diferente de zero atua durante um intervalo de tempo Δt sobre um corpo de massa m constante, este último sujeita-se a uma variação da quantidade de movimento ($p = m \cdot v$). Assim:

$$I = \Delta p = m \cdot \Delta v$$



O impulso pode também ser descrito de forma simplificada através do conceito de força média por $I = F_{med} \cdot \Delta t$.

Tomemos agora um exemplo relevante de aplicação da 2.^a Lei do Movimento ao desporto: o caso da caracterização da carga a que se sujeita um atleta num exercício de treino de força com pesos.

Ao elevar uma carga num exercício de “supino”, imaginemos 490 N (grosso modo 50 kg de massa de ferro ao nível do mar), a força a aplicar pelo sujeito sobre a massa na direção vertical, sentido ascendente, será tanto mais intensa quanto maior for a aceleração que imprima à barra. A força a exercer acima de 490 N ($50 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m.s}^{-2}$) será dada por: $F (N) = 50 (kg) \cdot a (m \cdot s^{-2})$. Deste exemplo percebemos que quanto maior for a aceleração da barra, mais força muscular terá de ser desenvolvida pelo desportista. A carga não poderá ser apenas caracterizada pelo peso a mobilizar, mas também pela forma como esse deslocamento é realizado, nomeadamente e em especial pela aceleração que o caracterize.

Um outro exemplo, muito importante, consubstancia-se no amortecimento de cargas pelo sistema biomecânico. Considere-se uma situação de queda (recepção ao solo), ou de amortecimento de um impacto qualquer, por exemplo, depois de um salto. A tarefa consiste em reduzir a zero uma dada quantidade de movimento de que o corpo vem animado (velocidade de queda multiplicada pela respetiva massa). Para conseguir levar a bom termo essa tarefa, o atleta tem de produzir um impulso negativo, que se oponha ao movimento de que o corpo vem animado. O mesmo impulso pode ser conseguido de duas formas extremas, ou por qualquer das respetivas soluções intermédias: ou o sujeito produz uma força muito intensa num intervalo de tempo muito curto, ou produz uma força relativamente pouco intensa durante um intervalo de tempo mais longo. No caso de uma recepção ao solo ou do amortecimento de um impacto qualquer, o que o atleta deve fazer é tentar prolongar tanto quanto possível o tempo de aplicação da força, para que a mesma seja mínima para um dado impulso. No caso da recepção ao solo, o atleta tenderá a tocar primeiro com o antepé, depois a realizar uma flexão dorsal do pé em contração dinâmica excêntrica dos flexores plantares, uma progressiva flexão do joelho, também em contração excêntrica do quadríceps e, finalmente, uma flexão da anca, em contração excêntrica dos glúteos. O atleta poderia optar por não amortecer a queda, maximizando a força numa intervalo de tempo muito curto, mas poderia, com essa estratégia, não conseguir o impulso frenador necessário e, em consequência, poder-se-ia lesionar.





Terceira Lei do Movimento, ou Princípio de Ação e Reação

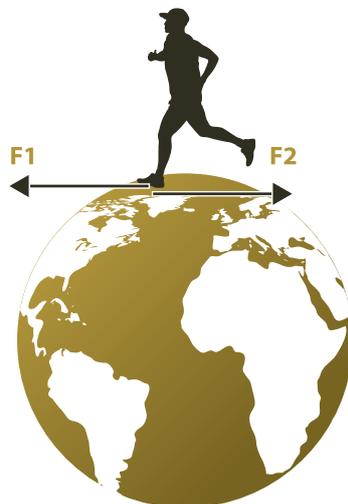
O enunciado da 3.ª Lei do Movimento de Newton, uma vez mais em tradução livre, estabelece que:

À AÇÃO DE UMA FORÇA CORRESPONDE SEMPRE UMA REAÇÃO OPOSTA (EXERCIDA NA MESMA DIREÇÃO, MAS EM SENTIDO CONTRÁRIO) E DE IGUAL INTENSIDADE.

Este princípio estabelece que todas as forças resultam das interações entre corpos.

Analise-se o caso dos dois lutadores da figura seguinte. Aquando do contacto de ambos, as forças exercidas da direita para a esquerda e da esquerda para a direita na direção horizontal terão a mesma intensidade (empurram-se mutuamente!). Porém, como a massa dos dois sujeitos não é presumivelmente a mesma, de acordo com a 2.ª Lei do Movimento, o de menor massa será mais acelerado do que o de massa superior e ambos em sentidos contrários.

O mesmo se passa entre, por exemplo, um corredor e a própria Terra (sim, o Planeta Terra). Quando o corredor exerce força para trás na etapa terminal da fase de apoio plantar, a Terra sujeitá-lo-á a uma força de reação da mesma intensidade, igualmente horizontal, mas aplicada de trás para a frente, responsável pela sua aceleração para diante. A Terra é também acelerada para trás pela ação do corredor, mas numa medida determinada pela proporção inversa da diferença de massas entre o corredor e o planeta, de tal forma que é desprezável.



As relações que acabamos de descrever foram percebidas por Newton, sustentando o enunciado do Princípio da Conservação do Momento Linear.



Princípio da Conservação do Momento Linear

A QUANTIDADE DE MOVIMENTO TOTAL DE UM CONJUNTO DE OBJETOS PERMANECE INALTERADA, A NÃO SER QUE UMA FORÇA EXTERNA SEJA EXERCIDA SOBRE O SISTEMA:

$$p=p_0 \Leftrightarrow m \cdot v=m_0 \cdot v_0 =\text{Constante}$$

2.1.3.2 O CASO PARTICULAR DO MOVIMENTO DE ROTAÇÃO – A EQUAÇÃO DO MOMENTO DE FORÇA E A CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR

As leis do movimento conforme as estudamos até agora aplicam-se ao **movimento linear**. O movimento linear é também designado por movimento de translação e caracteriza-se por todas as partes de um corpo rígido se deslocarem num dado intervalo de tempo a mesma distância na mesma direção. Pode ser retilíneo, ou curvilíneo.

Porém, para além do movimento linear, facilmente se reconhece outro tipo de movimento particularmente relevante, especialmente quando consideramos o movimento relativo dos segmentos corporais, por exemplo, do ser humano: o **movimento de rotação**, ou **movimento angular**. Neste tipo de movimento, todos os pontos de um corpo rígido deslocam-se, no mesmo intervalo de tempo, a mesma distância angular em torno de um eixo de rotação considerado e num plano perpendicular a esse mesmo eixo.

As relações fundamentais da mecânica que estudámos antes para o movimento linear foram desenvolvidas para o movimento angular por Euler.

A **relação fundamental da dinâmica aplicada ao caso particular do movimento angular** escreve-se:

$$M_F = I \cdot \alpha$$

Na equação anterior M_F representa o momento de força da força F , ou torque, I o **momento de inércia** e α a **aceleração angular**.

O **momento da força**, entretanto, é descrito pelo produto da intensidade dessa força pela distância perpendicular à linha de ação da força, que separa o seu ponto de aplicação do eixo de rotação – normalmente designado por **braço da força**, **braço do momento da força**, ou **braço da alavanca** (r):

$$M_F = F \cdot r$$

O **momento de inércia** (I) configura também aqui, no caso particular do movimento angular, a medida do efeito oposto à aceleração, ou, se preferirmos, a relutância do corpo sobre o qual é aplicado um momento de força em alterar o seu estado de repouso ou de movimento (lei da inércia). É descrito pelo produto da massa do corpo pelo quadrado do seu afastamento radial relativamente ao eixo de rotação (normalmente medido a partir do **centro de massa** – CM – mas não sem que se cometa um ligeiro erro de apreciação):

$$I = m \cdot r^2$$



O menino aplica um momento de força ao pião, fazendo-o rodar, quando o cordel, ao desenrolar-se, aplica uma força tangencialmente ao bojo do engenho, afastada de r perpendicularmente ao eixo de rotação, que atravessa longitudinalmente o pião.

No caso de corpos extensos ou constituídos por várias partes, temos que somar a contribuição do momento de inércia de cada uma das partes para o momento de inércia total:

$$I = \sum_i m_i r_i^2$$



PROPOSTA
DE TRABALHO

PODEM-SE REALIZAR UMA OU DUAS EXPERIÊNCIAS SIMPLES PARA PERCEBER MELHOR A NOÇÃO DE MOMENTO DE INÉRCIA:

- (i) Tente-se rodar um guarda-sol a uma dada velocidade em torno do seu eixo longitudinal. Compare-se o esforço necessário para o fazer com ele fechado e com o pano amarrado em torno do eixo e com ele aberto, com a massa especialmente mais afastada do eixo;
- (ii) Fixe-se uma bola na extremidade de um fio. Tente-se fazê-la rodar com uma pega mais curta e outra mais comprida do fio. Observe-se em qual das situações é mais fácil colocar a bola a rodar a uma dada velocidade angular. Uma vez a bola a rodar, observe-se em que situação é mais fácil fazê-la parar: com cabo curto ou com cabo longo?

A aceleração angular, como facilmente se percebe do que estudámos para o movimento linear, é dada pela segunda derivada no tempo da posição angular (θ_x , θ_y ou θ_z).

Do que acabamos de expor, percebe-se que uma aceleração angular de um objeto aumentada será conseguida através das seguintes alternativas:

- aumento da intensidade da força F (aumento de M_p);
- aumento do braço da força r (aumento de M_p);
- redução da massa do corpo (redução de I);
- redução do afastamento radial (r) da massa relativamente ao eixo de rotação (redução de I).

Que consequências podemos retirar destes conceitos para o desporto?

São várias. Tentemos alguns exemplos:

- 1 Para um ginasta conseguir realizar, com uma mesma capacidade de elevação, o maior número de mortais possíveis (no praticável ou no trampolim, por exemplo) ele deverá preferir adotar a posição de “engrupado” (formando como que uma bola em torno do eixo), de “encarpado” (mantendo os membros inferiores estendidos, fletindo o tronco e encostando a cabeça aos joelhos), ou de “empranchado” (mantendo o corpo completamente estendido com as mãos ao lado das coxas)?



2. Para elevar uma barra de pesos num concurso de halterofilismo, o atleta deverá tentá-lo com o halter junto ao corpo, fletindo os membros superiores e inclinando o tronco atrás, ou, pelo contrário, afastando os membros superiores do tronco, fletindo este ligeiramente e mantendo os membros superiores com os cotovelos estendidos e com flexão parcial dos ombros?

3. Desconsiderando as diferenças de capacidade de restituição de energia elástica pelo encordoado de uma raqueta de ténis em diferentes pontos da sua superfície, e supondo-se uma mesma velocidade angular do braço, obter-se-á um efeito superior sobre a bola se a raqueta for pegada pela extremidade do punho, o membro superior se mantiver estendido e a bola for tocada próximo da extremidade distal da raqueta, ou, pelo contrário, se a bola for batida junto do cabo, com pega muito curta e com o membro superior fletido?

4. Já agora, retomando o exemplo da raqueta, quando é que o tenista percebe como mais violento um impacto da bola na sua raquete? Quando esta a toca na extremidade distal com o membro superior estendido e afastado do tronco, ou com o membro superior fletido, próximo do tronco e com um contacto da bola próximo do cabo?

Na figura seguinte podemos observar um patinador em duas circunstâncias distintas, mas rodando em ambas.



PROPOSTA
DE TRABALHO

RESPONDA

Em qual das situações a massa do patinador está distribuída de forma mais próxima ao eixo de rotação?

Em qual das situações um mesmo momento de força proporcionaria uma maior aceleração angular, ou uma mesma aceleração angular requeriria um menor momento de força?

Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

Da mesma forma que antes associamos a relação fundamental da dinâmica (linear) à quantidade de movimento, ou momento linear, podemos também associar a sua expressão angular à **quantidade de movimento angular**, ou **momento angular** (L) de um corpo. O exemplo da patinadora que antes tratamos pode, de resto, ser melhor explicado exatamente pelo enunciado do Princípio da Conservação do Momento Angular de que falaremos adiante.

O **momento angular** é a grandeza física que associa a **velocidade angular** de um corpo em rotação à distribuição da sua massa. De uma forma simples, o momento angular (L) de um corpo rodando em torno de um eixo fixo pode ser determinado através da velocidade angular ω e de uma medida que já descrevemos: o **momento de inércia** (I):

$$L = I \cdot \omega$$

Mais uma vez, o momento de força resultante aplicado sobre o corpo em rotação determina a taxa de variação no tempo do momento angular, mantendo-se o momento angular inalterado se sobre o corpo não atuar um momento de força resultante diferente de zero (**Princípio da Conservação do Momento Angular**):

2.1.3.3 MECÂNICA LINEAR E MECÂNICA ANGULAR

Em síntese, é possível estabelecer um paralelismo estreito entre a mecânica linear e a mecânica angular, nomeadamente entre as suas leis, grandezas e unidades (SI):

	MECÂNICA LINEAR	MECÂNICA ANGULAR
1ª Lei de Newton	Um corpo permanece imóvel ou animado de movimento retilíneo uniforme a não ser que sobre ele seja aplicada uma força resultante diferente de zero.	Um corpo permanece imóvel ou animado de movimento angular uniforme a não ser que sobre ele seja aplicado um momento de força resultante diferente de zero.
2ª Lei de Newton	A mudança de movimento de um corpo submetido à ação de uma força resultante diferente de zero é inversamente proporcional à massa do corpo considerado e diretamente proporcional à intensidade da força motora, realizando-se na direção e sentido nos quais aquela força é aplicada.	A mudança de movimento de um corpo submetido à ação de um momento de força resultante diferente de zero é inversamente proporcional ao momento de inércia do corpo considerado e diretamente proporcional à intensidade do momento de força motor, realizando-se na direção e sentido nos quais aquele momento de força é aplicado.
3ª Lei de Newton	À ação de uma força corresponde sempre uma reação oposta (exercida na mesma direção mas em sentido contrário) e de igual intensidade.	À ação de um momento de força corresponde sempre um momento de força de reação que lhe é oposto (exercido na mesma direção, mas em sentido contrário) e de igual intensidade.
Medida de Inércia (SI)	Massa m (kg)	Momento de Inércia $I = m \cdot r^2$ (kg.m ²)
Velocidade (SI)	Velocidade linear v (m.s ⁻¹)	Velocidade angular ω (rad.s ⁻¹)
Aceleração (SI)	Aceleração linear a (m.s ⁻²)	Aceleração angular α (rad.s ⁻²)
Quantidade de Movimento (SI)	Momento linear $p = m \cdot v$ (kg.m.s ⁻¹)	Momento angular $L = I \cdot \omega$ (kg.m ² .rad.s ⁻¹)
Elemento motor (SI)	Força $F = m \cdot a$ (N)	Momento de força $M_F = I \cdot \alpha$ (Nm)



PROPOSTA DE TRABALHO

DESAFIO

Procure agora explicar como é que o patinador aumenta a velocidade angular, sem que sobre ele atue qualquer momento de força resultante diferente de zero (despreza-se a resistência do gelo).

$$L = I \cdot \omega = I_0 \cdot \omega_0 = \text{Constante}$$

se

$$I > I_0$$

então

$$\omega < \omega_0$$

2.2 Projéteis



Designa-se por projétil o corpo sólido, com massa diferente de zero, lançado e abandonado no espaço depois de ter sido submetido a um impulso (uma força atuando durante um determinado intervalo de tempo).

A mecânica dos projéteis é muito importante em desporto, porque em muitas das modalidades desportivas a ação decorre exatamente através da manipulação, lançamento e receção de projéteis. É o caso dos desportos com bola, na sua generalidade, ou os lançamentos, no atletismo. É ainda o caso das modalidades desportivas em que é o próprio corpo do praticante que se comporta como um projétil, as modalidades que comportam saltos: a ginástica, os saltos para a água, os saltos em atletismo, etc.

Trata-se, portanto, de um caso particular da mecânica muito relevante para a compreensão da técnica desportiva em geral.

No estudo dos projéteis, normalmente procede-se a uma severa simplificação das condições em que decorre a ação; normalmente o corpo projetado considera-se representável por uma partícula ou ponto material (ponto sem dimensões e com a massa do corpo todo – habitualmente associado ao Centro de Gravidade [CG]⁴ do corpo em questão), para além de que, na maioria dos casos, considera-se o movimento circunscrito a um plano simples, definível portanto por duas dimensões.

2.2.1 QUEDA DOS GRAVES

A queda de um corpo abandonado no espaço sem se submeter a um impulso qualquer que não o produzido pela força da gravidade consiste na situação mais simples de um projétil.

⁴ A posição (x_{CG}) do CG obtém-se através do ponto definido pela média ponderada da posição (x_1 e x_2) das partículas constitutivas do corpo pela respetiva fração de massa (m_1 e m_2) de cada partícula (massa de cada partícula dividida pela massa total $M = m_1 + m_2$):

$$x_{CG} (cm) = (m_1 x_1 + m_2 x_2) / M$$



PROPOSTA
DE TRABALHO

RESPONDA

Quando largados de uma mesma altura, sem impulso que não o gravítico, qual a bola que cairá a velocidade mais elevada: um peso de lançamento em atletismo ou uma bola de voleibol? E ambas cairão a uma velocidade maior, igual ou superior à de uma pena de pássaro?





Com Aristóteles (384-322 a.C.), na Grécia clássica, pensava-se que o movimento de um corpo necessitava de ser “alimentado” por uma ação; isto é, para que o movimento fosse mantido seria necessário atuar sobre o objeto. Na opinião de Aristóteles, portanto, um corpo mais pesado cairia mais depressa do que um corpo mais leve, uma vez que ficaria sujeito a uma ação (à do seu peso) superior. Só com Galileu é que esta conceção foi ultrapassada e se percebeu que não é efetivamente assim que as coisas se passam. Curiosamente, porém, ainda hoje há muito boa gente que, intuitivamente, pensa que para manter um corpo em movimento é necessário atuar sobre ele para o conseguir, ou que um corpo mais pesado cairá a maior velocidade quando abandonado. Nada mais errado!

Galileu percebeu este efeito quando utilizou, para substituir a queda livre, a queda no plano inclinado, tendo percebido que a aceleração de todos os corpos, independentemente da sua massa, era idêntica e que, por isso, no mesmo lugar todos tinham a mesma velocidade terminal.

No caso da pena de pássaro já poderemos ter um outro efeito a comprometer a experiência. A pena, devido à sua reduzida massa, é muito sensível à força de resistência aerodinâmica que o ar oferece a todos os corpos que se deslocam no seu seio, mas que, relativamente ao peso da bola de voleibol ou ao peso do engenho de atletismo, seria desprezável. Nestes casos, portanto, pode considerar-se que a resistência aerodinâmica não interfere e a única força em presença é gravitacional. No caso da pena, a resistência aerodinâmica não se pode negligenciar e a pena chega mesmo ao chão mais tarde e a uma velocidade menor do que o peso ou a bola. Porém, na ausência de ar, no vazio, isso já não aconteceria. Experiências realizadas na Lua por astronautas das missões Apolo mostraram isso categoricamente. Na Lua seria difícil encontrar um pássaro (porque não teria ar para voar) e, por isso, seria também difícil encontrar uma pena, mas quando alguém levou para lá uma e a deixou cair da mesma altura e ao mesmo tempo que uma bola de chumbo, ela chegou ao chão ao mesmo tempo e animada da mesma velocidade.

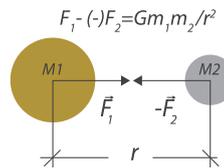


Como é que isto acontece? Pensemos em qual é a única força a que fica submetido um corpo abandonado no espaço, se desprezarmos a resistência do ar. Trata-se da **força da gravidade**, ou força de atração gravítica exercida pela massa da Terra.

A força da gravidade (do latim “gravitas”, de “gravis”, pesado) foi definida por Newton através da formulação da **LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL** que, conjuntamente com as três leis do movimento (na terceira das quais se fundamenta), alicerçam a Mecânica Clássica:



Dois corpos (pontos materiais) atraem-se entre si com forças de sentido contrário e igual intensidade, a qual é proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa:



Onde F_1 e $-F_2$ (N) se referem às forças com que se atraem os corpos 1 e 2; G é a constante de gravitação universal ($G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$), que expressa a atração experimentada por dois corpos de 1 kg de massa separados entre si de 1 m, m_1 e m_2 (kg) as massas dos corpos em questão; e r a distância entre os corpos (m).

Reza a lenda que Newton terá descoberto a Lei da Gravitação Universal refletindo sobre a queda de uma maçã...

Partindo da relação fundamental da dinâmica e sabendo que a força com que a Terra (m_1) atrai qualquer corpo (m_2) é dada pela expressão anterior, percebe-se que a aceleração gravitacional (g) a que sujeita o corpo m_2 a uma distância r é função da massa da terra (m_1) e não da sua própria massa:

$$F_1 = G m_1 m_2 / r^2$$

Pela 2.ª lei de Newton, $F_1 = m_2 a$, pelo que obtemos $a = G m_1 / r^2$.

Como esta aceleração é a aceleração da gravidade, que geralmente se nota por g , obtemos:

$$g = G m_1 / r^2$$

Percebe-se também que a aceleração a que os corpos são sujeitos decresce com o quadrado do afastamento (r) ao centro do corpo que os atrai.



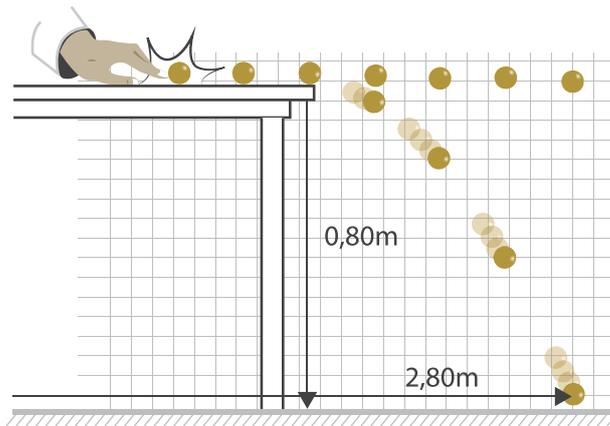
A força da gravidade com que a Terra atrai para o seu centro os corpos que se encontram à sua superfície (ao nível do mar) é de tal forma que lhes impõe uma aceleração de g (9.8 m/s^2).



A aceleração a que fica sujeito um corpo deixado livre no espaço é função da massa da Terra e não da sua própria massa, pelo que corpos de peso diferente caem ao solo (partindo da mesma altura e ao mesmo tempo) a uma velocidade terminal idêntica.

2.2.2 QUEDAS NO PLANO (2D)

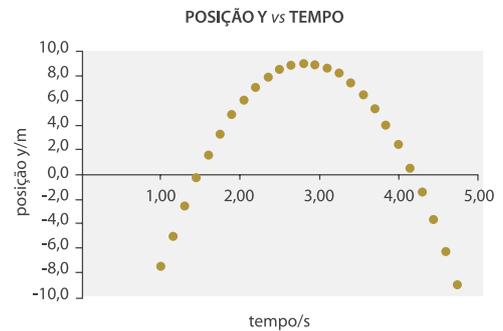
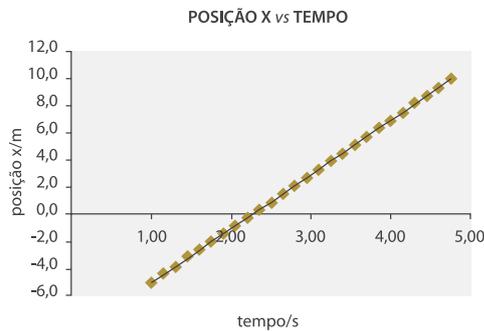
Suponhamos agora que o corpo em queda, não foi abandonado imóvel no espaço, mas que vinha animado de uma dada velocidade horizontal inicial v_{x0} . Seria o que aconteceria se uma bola rolando sobre uma mesa subitamente atingisse o limite desta.



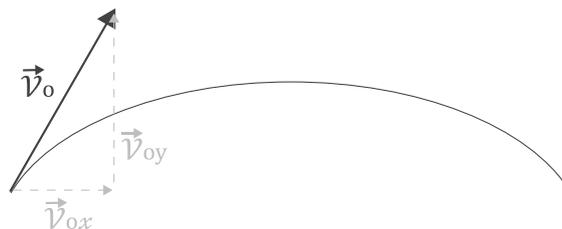
Mais uma vez desconsiderando a resistência do ar, a velocidade horizontal da bola no momento de perda de contacto com a mesa seria mantida, ao mesmo tempo que a aceleração da gravidade a puxaria para o chão. A bola descreveria assim uma **trajetória representada por metade de uma parábola** caracterizada por:

- uma velocidade horizontal inicial diferente de zero ($v_{x0} > 0 = \text{constante}$);
- uma velocidade vertical inicial igual a zero ($v_{y0} = 0$);
- uma aceleração horizontal zero ($a_x = 0$);
- uma aceleração vertical superior a zero e igual a g (9.8 m.s^{-2}).

A velocidade vertical aumenta à razão de 9.8 m.s^{-1} em cada segundo, caindo a bola a uma velocidade crescente (movimento uniformemente acelerado), mas a distância horizontal percorrida mantém-se constante em cada intervalo de tempo (movimento uniforme):



Imagine-se agora que a bola é lançada na vertical a uma velocidade inicial (v_y) através de um canhão que se desloca a uma dada velocidade horizontal constante (v_x). A velocidade resultante de saída da bola seria v , um vetor inclinado, formando um dado ângulo α com a horizontal. O mesmo efeito seria conseguido se a bola fosse lançada de um ponto estacionário segundo uma direção oblíqua, com ângulo inicial θ , e com uma velocidade composta $\vec{V}_0 = (V_{0x}, V_{0y})$:



No exemplo, para quem se lembra de trigonometria:

$$v_x = v \cos \alpha$$

$$v_y = v \sin \alpha$$

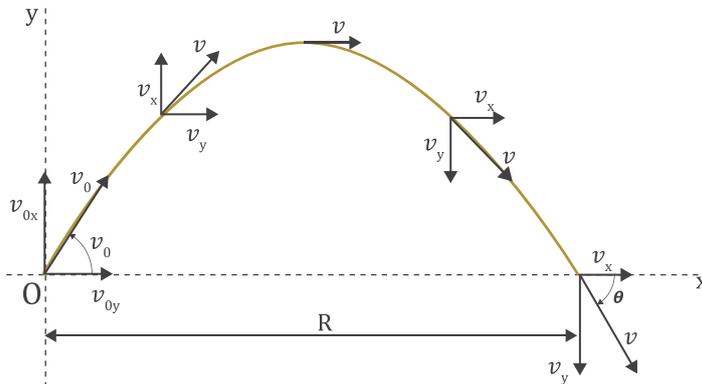
Na medida em que o corpo está sujeito à aceleração negativa da gravidade, em cada instante a v_y vai ser dada pela velocidade y inicial menos a velocidade perdida por ação gravítica. Assim:

$$v_y = v_o \sin \alpha - gt$$

Não se aplicando outras forças que não a do peso do corpo (desprezando a resistência do ar), o corpo apresentaria uma velocidade vertical progressivamente

Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

reduzida (acelerada negativamente em 9.8 m.s^{-2}) até deixar de se elevar ($v_y = 0$ – onde atinge a elevação máxima) a meio caminho do deslocamento horizontal máximo, findo o que passa a ser acelerado positivamente para baixo até atingir o solo (elevação mínima) no alcance horizontal máximo. Observa-se, portanto, que o corpo descreve uma parábola.



Pode-se demonstrar que o alcance horizontal máximo é obtido com um ângulo de saída de 45° e uma elevação mediana. Aumentando o ângulo de saída cresce o alcance vertical e diminui o alcance horizontal, sendo a elevação máxima obtida com o lançamento vertical. Diminuindo o ângulo de saída reduz-se quer o alcance vertical, quer o alcance horizontal.

Um saltador em comprimento deveria apresentar um ângulo de saída de cerca de 45° para conseguir o máximo alcance na parábola descrita pelo seu CG. No entanto, o ângulo de saída efetivamente usado pelos atletas é de cerca de metade deste valor, uma vez que os atletas na corrida de aproximação se deslocam com velocidade horizontal, a qual deve ser parcialmente convertida em velocidade vertical durante o apoio para a chamada. Ora, esta conversão não é fácil (basta reparar que o recorde mundial de salto em altura é muito menor do que o de salto em comprimento), e se o atleta tentar obter velocidade vertical suficiente para que o ângulo de saída se aproxime de 45° , perderá demasiada velocidade horizontal e, como consequência, terá um alcance menor.

Deve também preparar a receção com os membros inferiores à frente (também à frente do CG) para que toque o chão efetivamente à frente do estimado pela parábola (o que aconteceria sempre, porque, de facto, o CG do saltador parte de uma distância vertical relativamente ao solo diferente de zero e termina o salto com o CG praticamente à altura do solo).





É importante notar que, na trajetória de projéteis, uma vez que se considera que nenhuma força para além da gravidade atua sobre o corpo após a saída, então a trajetória que irá descrever fica predefinida no momento da impulsão, não podendo ser alterada por nenhum movimento segmentar realizado durante o voo, desde que esse não seja resistido por forças externas. Isto é, faça o nadador o que fizer durante o voo na partida, ou o basquetebolista gesticule como entender durante o salto para o cesto, nada perturbará a parábola pré-desenhada. Apenas a posição relativa dos segmentos corporais se altera em relação à posição do CG enquanto este descreve aquela trajetória. Alguns nadadores realizam “chutos” no ar durante a partida, mas isso não os leva mais longe. Alguns futebolistas baixam os braços durante o cabeceio para “baixar o CG dentro do seu corpo”, elevando com isso a cabeça relativamente à trajetória do CG, o que poderá ser favorável para a elevação da cabeça, ou para a velocidade de impacto do jogador contra a bola.

2.3 Atrito



A força de atrito constitui um tipo de força decorrente da interação entre corpos que é determinante para o entendimento de um importante conjunto de fenómenos biomecânicos, desde logo a locomoção, particularmente a marcha. Para que nos possamos locomover necessitamos que seja produzida uma força de resistência mínima ao deslizamento das solas dos nossos sapatos sobre o solo. Todos percebemos essa importância, mas particularmente os desportistas. A quem não ocorre imediatamente lembrar dos “pitons” das chuteiras dos futebolistas, ou os “pregos” dos sapatos de atletismo? Em contrapartida, em algumas outras atividades desportivas, quanto menor for essa resistência melhor, na maioria das circunstâncias. É o caso do esqui numa prova retilínea, por exemplo. Noutras modalidades esta força é gerida de uma forma muito criativa. No motociclismo, por exemplo, os pneus das motos de grande prémio têm um perfil em “V”, para que possam apresentar o mínimo contacto com o solo em linha reta (evitando a redução da velocidade associada ao que se designa por atrito de rolamento), mas o máximo de apoio em curva, quando a moto se inclina visível e quase incrivelmente para os lados, num ângulo próximo do ângulo do “v” do pneu.



A força de atrito é, então, a componente da força de contacto entre as superfícies de dois corpos em movimento relativo, ou em tendência de entrada em movimento relativo, exercida no plano estabelecido por essas superfícies e na mesma direcção e sentido contrário ao movimento relativo considerado.

Esta força deve-se à maior ou menor aspereza (rugosidade superficial) dessas superfícies e à velocidade relativa entre ambas. Mas deve-se também e de forma particularmente relevante, à componente da força de contacto perpendicular às superfícies em causa.



PROPOSTA
DE EXPERIÊNCIA

EXPERIÊNCIA:

- 1º Passe a palma da sua mão aberta sobre a superfície da sua mesa de leitura. Faça-o exercendo pouca força vertical sobre a mesa e faça-o depois “pesando” mais sobre a sua mão. Verifica que no segundo caso a mão se “agarra” mais à mesa e que o deslize é mais difícil. Experimente agora o mesmo movimento da mão sobre uma cadeira estofada com um tecido rugoso. Verificará que para a mesma força e velocidade é mais difícil deslizar a mão no tecido rugoso do que na mesa lisa.
- 2º Experimente agora deslocar sobre a mesa a mão à mesma velocidade, mas apenas apoiando um dedo sobre a mesa com a mesma força vertical que aplicou quando deslocou a mão com a superfície palmar toda apoiada. Foi agora maior ou menor a facilidade em conseguir o deslocamento?

CONCLUSÃO

A produção de força de atrito dissipa energia sob a forma de calor. Às vezes, parte da energia dissipada é também utilizada para produzir o desprendimento de porções de matéria à superfície (moléculas do material sujeito a atrito), num fenómeno que designamos por abrasão.

2.3.1 COEFICIENTE DE ATRITO

O coeficiente de atrito (estático e dinâmico) é uma grandeza sem dimensões que se atribui a um par de superfícies que contactem entre si e que depende da rugosidade dessas superfícies e do grau de acoplamento das mesmas. Percebe-se, por exemplo, que os *pitons* de alumínio parecem proporcionar um acoplamento aumentado da chuteira do futebolista à superfície da relva natural quando comparado com o solado sem *pitons*.



O coeficiente de atrito estático (μ_e) relaciona a força normal às superfícies em contacto com a força de atrito observada quando existe tendência ou estão na iminência de se moverem uma em relação à outra. Por sua vez, o coeficiente de atrito dinâmico, ou cinético (μ_c), relaciona a força normal às superfícies em contacto com o atrito a que ficam sujeitas quando já existe movimento relativo entre ambas. Pode observar-se que o coeficiente de atrito cinético é geralmente menor que o coeficiente de atrito estático.

Em fluidos (no ar e na água, por exemplo) também há atrito, mas a sua natureza é distinta e mais complexa.

2.3.2 ATRITO ESTÁTICO

Quando pretendemos colocar em movimento um corpo sobre outro há duas grandezas que complicam essa tarefa: uma é a massa do corpo (como vimos nas leis de Newton), que determina a medida da inércia desse corpo à variação do seu estado de movimento linear e a outra é a força de atrito estático que se desenvolve entre as duas superfícies em contacto: a do corpo que se vai deslocar e aquela sobre a qual ele se deslocará.

Uma forma particular de atrito estático é o atrito de rolamento de uma roda sobre outra superfície (o atrito do pneu da moto que referimos antes quando o pneu simplesmente rola sobre o asfalto – neste caso apesar da roda se deslocar enquanto tal, cada ponto de contacto do pneu com a pista é estático –, não durante as fantásticas derrapagens controladas de alguns motociclistas – esse é o atrito dinâmico!).



A força de atrito estático interessante é a força de **atrito estático máximo** que se pode desenvolver entre duas superfícies imediatamente antes destas serem colocadas em movimento relativo (sem que estas deslizem uma sobre a outra). Depois do motociclista inclinar a moto na curva o pneu é capaz de controlar a **força centrífuga** que impulsiona o conjunto para fora na medida do seu atrito estático máximo (de facto o atrito constitui a **força centrípeta**, que impulsiona o corpo para o centro da trajectória circular). Depois de este ser ultrapassado o pneu começa a escorregar sobre a pista, em derrapagem, e a queda torna-se mais provável. A velocidade máxima numa curva de raio r pode ser demonstrada como:

$$v_{max} = \sqrt{\mu_e gr}$$



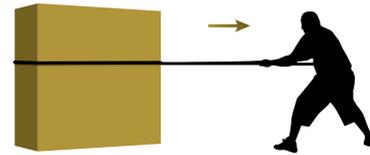
O futebolista, depois de apoiar a chuteira na relva para executar uma mudança súbita de direcção, espera que o atrito estático seja suficiente para suportar o esforço inerente àquela acção, opondo-se a que a chuteira deslize sobre o relvando, comprometendo a acção técnica. O mesmo se passa com os jogadores de *rugby* quando formam uma *melé*.

Se o sujeito da figura ao lado aplicar uma pequena força sobre a caixa não a conseguirá mover. O atrito estático será capaz de a compensar e a resultante será nula, não se observando alteração do estado de repouso da caixa. Ele pode ir aplicando forças horizontais sucessivamente maiores, até que a dado momento ultrapassa a intensidade do atrito estático máximo e a força resultante passa a ser no sentido da força de tração exercida pelo indivíduo, permitindo a aceleração da caixa nessa direcção e sentido.

A menor força que permite deslocar o objeto considera-se ser uma estimativa conveniente do atrito estático máximo. De facto, essa é a força limite que obsta a que o objeto seja colocado em movimento e a sua intensidade é dada por:

$$F_{ae\ máx} = \mu_e \cdot N$$

Onde N representa a intensidade da força normal ao plano das duas superfícies. No caso das duas superfícies estarem em posição horizontal N será dado pelo peso P do corpo. No caso do plano inclinado, será a componente de P perpendicular à superfície de contacto – $N = P \cos \alpha$ – (inferior a P), por isso mais fácil será colocar o corpo em movimento descendente, para além do peso apresentar também ele uma componente nesta direcção que reforçará qualquer outra força motora externa que tenda a fazer o corpo deslizar para baixo no plano inclinado. Pela mesma razão, também se verifica que é mais fácil elevar uma carga através de um plano inclinado do que diretamente na vertical.



2.3.3 ATRITO DINÂMICO OU CINÉTICO

Se o leitor realizar uma experiência semelhante à do sujeito da figura anterior, que puxa a caixa, perceberá que logo após esta ter sido colocada em movimento, a força que necessita de realizar para a manter a deslocar-se a uma velocidade relativamente constante será menor do que a que foi necessária para a colocar em movimento. Isso deve-se não apenas ao efeito de inércia (já não está mais a acelerar a massa da caixa), mas também ao facto do atrito dinâmico ser menor do que o atrito estático máximo.

A intensidade do atrito dinâmico ou cinético é dada pela expressão:

$$F_{ac\ máx} = \mu_c \cdot N$$

Onde N representa, de novo, a intensidade da força normal ao plano das duas superfícies. Como se percebe pelas duas equações anteriores, são os coeficientes de atrito estático e dinâmico que determinam o valor de um tipo de atrito em relação ao outro.

2.4 Trabalho, energia, potência e eficiência

2.4.1 TRABALHO

Trabalho é um conceito que todos os treinadores dominam! Trabalho é o que não falta quando um treinador pretende organizar, planejar, operacionalizar, conduzir e avaliar o processo de treino e de participação competitiva de uma equipa desportiva, ou tão só de um simples praticante. Entre as muitas características distintivas de um treinador de sucesso, provavelmente uma das mais destacadas seja efetivamente a sua capacidade de trabalho.

Em física, todavia, a noção de **trabalho** tem um sentido muito concreto; perfeitamente adequado, porém, à noção generalizada pelo senso comum.



Trata-se da medida da energia transferida de um corpo para outro pela aplicação de uma força ao longo de um deslocamento.

Quando um corpo aplica uma força sobre outro, deslocando o ponto de aplicação dessa força, realiza trabalho (trabalho positivo, ou motor, quando contribui para esse deslocamento acrescentando energia ao corpo, ou trabalho negativo, ou resistente, quando se opõe ao mesmo, subtraindo-lhe energia). O trabalho realizado por uma força é normalmente designado por W e a unidade do SI para trabalho é o Joule (J). Um Joule corresponde ao trabalho realizado por uma força de 1 N ao deslocar em 1 m o seu ponto de aplicação:

$$W = F \cdot d$$



(...) durante contrações musculares isométricas, por exemplo, onde não é realizado deslocamento, os nossos músculos consomem energia.

Como se percebe pela definição de trabalho, caso não haja deslocamento não é realizado trabalho. Todavia, todos nós estamos bem cientes de que durante contrações musculares isométricas, por exemplo, onde não é realizado deslocamento, os nossos músculos consomem energia. Analisando detalhadamente poderemos aperceber-nos que os tendões são distendidos e que existe deslocamento de proteínas contráteis umas sobre as outras ao nível dos sarcómeros que constituem o músculo em contração isométrica. Afinal acaba por ser realizado trabalho, de facto, mas trabalho interno e não trabalho externo.

Da mesma forma, para que seja realizado trabalho é também necessário que exista uma força resultante aplicada ao corpo diferente de zero na direção do movimento quando o deslocamento ocorre. Isto é, no movimento uniforme (velocidade constante, aceleração nula, resultante de forças aplicada nula) não ocorre produção de trabalho, isto é, não se acrescenta nem diminui energia mecânica ao corpo em deslocamento.

2.4.2 POTÊNCIA

Quando é realizado trabalho sobre um corpo de forma muito "rápida", o deslocamento do ponto de aplicação da força por unidade de tempo é elevado. O produto da força pela velocidade de deslocamento do seu ponto de aplicação constitui, portanto, uma medida da taxa de produção de trabalho, ou do trabalho produzido por unidade de tempo. A esta nova grandeza mecânica chama-se **potência**. A potência designa-se por P e a unidade em que é expressa no SI é o Watt (W). $1W$ é o equivalente a um trabalho de $1J$ realizado em $1s$:

$$P = F \cdot v$$

A expressão anterior liga-se à expressão do trabalho da seguinte forma:

$$P = \Delta W / \Delta t = F \cdot \Delta R / \Delta t = F \cdot v$$

2.4.3 ENERGIA

Percebemos, portanto, que trabalho e energia mecânica são noções muito próximas. De facto são noções tão próximas que são, inclusivamente, intermutáveis.



Energia é, por definição, a entidade física suscetível de realizar trabalho.

Dito de outra forma:

só se realiza trabalho sobre um corpo quando se transfere energia para o mesmo e quanto mais rapidamente esse processo acontecer, mais potente o mesmo se diz.

Quando dizemos que “alguém tem muita energia” percebemos que se pretende dizer que é alguém capaz de realizar muito trabalho, ou de o realizar com elevada potência. Da mesma forma, o que um treinador pretende na generalidade do treino condicional que realiza com os seus atletas, nomeadamente o treino dos recursos bioenergéticos (aeróbio e anaeróbios) é aumentar a energia biológica (bioquímica) disponível para realizar trabalho (mecânico) e aumentar também a capacidade dela ser mobilizada por unidade de tempo: potência dos sistemas bioenergéticos.

No treino desportivo falamos muito frequentemente de energia biológica; de ATP, de energia aeróbia e de energia anaeróbia. Trata-se de formas particulares de armazenamento químico (ou bioquímico) de energia (que em última análise provém do Sol, ou da grande explosão inicial do Universo: o Big Bang), que a contração muscular transforma em energia mecânica ao mobilizar os segmentos corporais de forma mais ou menos potente (veloz).

2.4.4 EFICIÊNCIA: PARADIGMA DO GESTO DESPORTIVO CORRETO

Quando transformamos uma forma de energia noutra, ou transferimos um mesmo tipo de energia de um corpo para outro, parte dessa energia transforma-se em calor, perdendo grande parte da sua capacidade para realizar trabalho. Essa perda irreversível e incontornável de energia útil (a que permite efetivamente realizar trabalho) para formas energéticas não-úteis designa-se por **entropia**. A variação do estado energético de um corpo entre o momento anterior à realização de trabalho sobre ele e após a realização de trabalho, adicionada à entropia observada nesse processo de transferência de energia (de realização de trabalho), deverá ser igual ao total de energia dispendida no processo. Diz-se que um processo de transformação de energia é tanto mais **eficiente**, quanto menor for a entropia associada. Se E' for o estado energético final do corpo sobre o qual foi realizado trabalho e E a energia dispendida na realização desse trabalho, a eficiência (e) da transformação energética foi:

$$e = (E'/E) \cdot 100$$



Das leis do movimento de Newton e das interpretações de Euler à análise da técnica desportiva

Como se percebe da equação anterior, a eficiência é normalmente descrita em percentagem da energia investida no processo de transferência e expressa a quantidade dessa energia que foi aproveitada em trabalho, fazendo variar o estado energético do corpo em questão.

Sendo o desportista um sistema bioenergético com recursos limitados, nomeadamente nos registos mais elevados de potência, é decisivo que todos os movimentos que realiza em contexto de realização desportiva impliquem transferências de energia eficientes, com reduzida entropia. Diz-se nesse caso que o movimento é eficiente e, para o mesmo trabalho realizado, mais energia foi reservada para aumentar ainda mais a potência a que esse trabalho pode ser realizado, ou para realizar trabalho extra. Para termos uma ideia de como pode variar a eficiência do movimento humano, note-se que a locomoção bípede, a marcha e a corrida, podem apresentar valores de eficiência acima dos 20%; enquanto que a natação humana, por exemplo, dificilmente atinge valores de 10%, ficando-se normalmente por quase metade deste valor.



PROPOSTA
DE TRABALHO

PERGUNTA

- Se pretendemos fazer uma longa viagem com a energia que temos disponível, deveremos preferir deslocarmo-nos andando, ou nadando?
- Se pretendemos maximizar a energia que dispendemos, para emagrecer, por exemplo. Deveremos preferir nadar uma hora por dia, ou andar uma hora por dia?

A eficiência do movimento desportivo, em particular a forma de que este se deve revestir para a maximizar sem comprometer a respetiva eficácia (a capacidade de cumprir o objetivo para que foi realizado), constitui um dos aspetos centrais da investigação em desporto com vista à maximização do aproveitamento biomecânico dos recursos bioquímicos, fisiológicos e outros (psicológicos, por exemplo) de que dispõe o atleta, transformando-os em *performance* potencial maximizada. Constitui, por isso, um dos critérios mais importantes de entre quantos se usem para **definir a técnica desportiva correta**.

2.4.5 FORMAS DE ENERGIA MECÂNICA:

ENERGIA CINÉTICA E ENERGIA POTENCIAL

A energia mecânica subdivide-se em duas categorias: a **energia cinética**, ou energia do movimento e a **energia potencial**, ou energia de posição. A energia potencial pode, também, ser de natureza elástica.

2.4.5.1 ENERGIA CINÉTICA

A energia cinética (E_c) de um corpo é determinada pela sua massa (m) e pelo quadrado da velocidade (v^2) a que se desloca. A expressão que a descreve é:

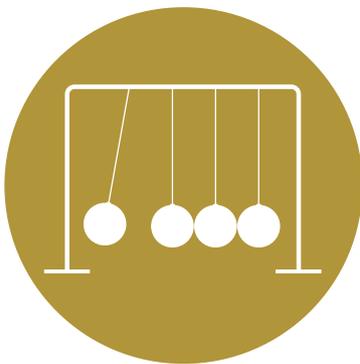
$$E_c = 0.5 \cdot m \cdot v^2$$



Ao duplicar a massa de um corpo em movimento duplica-se também a sua energia cinética, mas ao duplicar-se a sua velocidade, quadruplica-se a sua energia do movimento.

Um jogador de *rugby* com 100 kg de massa corporal animado de uma velocidade de 4 m/s que se sujeite a uma **colisão** com um adversário imóvel causará o quadruplo dos problemas do que impactando-o a 2 m/s. Mas que estrago será esse? Um jogador de 100 kg animado de uma velocidade de 4 m/s tem uma energia cinética de 800 J. Essa energia foi conseguida ao longo de um período de aceleração relativamente longo, em que uma força relativamente pequena foi sendo usada para progressivamente acelerar a massa e aumentar a velocidade do jogador. Quando ele subitamente colide contra o seu adversário transmite-lhe parte dessa energia. Se porventura o não fizesse, se chocasse contra uma parede rígida, teria de, em breves centímetros (os da sua deformação durante o impacto), realizar todo o trabalho dissipativo correspondente ao que lhe conferiu a energia cinética do momento do impacto. Teria, por isso, de se sujeitar a forças muito apreciáveis. Imagine que os 800 J, ou Nm, foram conseguidos através de uma força de 80 N aplicada ao longo de 10 m. Em apenas 0.1 m de deformação (será que o corpo se conseguiria deformar em 10 cm?), a força a que o jogador se sujeitaria para realizar o trabalho dissipativo necessário seria de 8000 N. A diferença é, grosso modo, entre 8 e 800 kg força! Para que tais forças não ocorram espera-se que o corpo que sofre a colisão se deforme também, absorvendo parte da energia cinética, ou não esteja fixo, podendo receber, por transmissão, apenas parte da energia cinética do impactante, uma vez que esta é reduzida das deformações entretanto produzidas em ambos.

O **princípio da conservação da energia cinética** na colisão de corpos rígidos é bem ilustrada pela experiência das esferas, que todos conhecem. A energia cinética da esfera em movimento é transmitida através do conjunto de esferas rígidas até à da extremidade oposta, colocando-a em movimento à velocidade da esfera inicial, reduzida dos pequenos efeitos entrópicos verificados no processo (que levarão, depois, o sistema a parar). Diz-se que este tipo de colisão entre corpos rígidos é uma **colisão quase elástica**, na medida em que a quase totalidade da energia cinética é conservada enquanto tal e apenas uma pequena parcela é transformada noutras formas de energia.



A colisão elástica será, por definição, aquela em que não ocorra perda de energia cinética na colisão. A colisão não elástica será aquela, portanto, em que parte da energia cinética se transforma noutras formas de energia, nomeadamente energia interna dos corpos macroscópicos colididos. Um caso típico de colisão não elástica é a que acontece nos automóveis modernos com deformação programada em caso de impacto. A energia cinética é transformada em energia da deformação (energia interna de ligação intermolecular responsável pela realização de trabalho negativo sobre o impactante) antes de ser transmitida ao ocupante e aos seus órgãos internos enquanto energia cinética. De facto a energia cinética não pode ser controlada pela colisão, mas apenas pela realização de trabalho resistente, já que só parte dela pode ser transformada noutras formas de energia.

2.4.5.2 ENERGIA POTENCIAL

Designa-se por energia potencial (EP) ou energia livre, a energia disponível para ser libertada e produzir trabalho. Nessa medida pode reconhecer-se vários tipos de energia potencial. **As formas de energia potencial mais frequentemente consideradas são:**

- (i) a energia potencial gravitacional, ou gravítica. (ii) a energia potencial elástica. (iii) a energia potencial elétrica.

Destas interessam-nos particularmente, neste momento, as duas primeiras.

2.4.5.2.1 ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

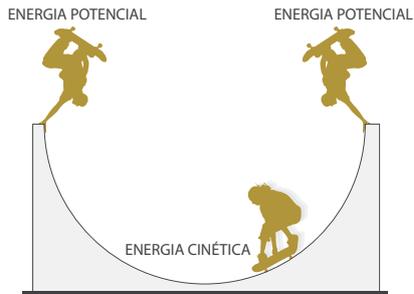
A energia potencial gravitacional (EP) é a energia potencial de um corpo decorrente da sua posição relativa à Terra. As variáveis que a determinam são a massa (m) do corpo em questão e a altura a que se encontra (h), ou elevação do seu CG relativamente à superfície da Terra (ou outro nível de referência adequado). A sua expressão matemática é:

$$E_p = m g h$$

A energia potencial gravitacional pode também ser definida pela altura (h) a que o corpo se eleva multiplicada pelo seu peso (mg). As suas unidades são, uma vez mais, as da força multiplicada pelo comprimento (Nm), ou joule (J).

A energia potencial de um saltador para a água é superior no momento da impulsão e na fase mais elevada do voo, relativamente a quando contacta com a água. A perda de energia potencial entre os dois momentos será





correspondente ao trabalho realizado durante a queda pela força da gravidade, responsável por acelerar a massa do sujeito, aumentando a sua energia cinética. O mesmo se passa no caso do *skateboarder* entre o ponto mais alto do meio-tubo e o mais baixo, onde a energia cinética é máxima.

2.4.5.2 ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

A energia elástica é a energia que tem origem na deformação de um objeto não completamente rígido. A vara do saltador com vara, ou a mola de um amortecedor, são exemplos de corpos que são suscetíveis de armazenar energia potencial elástica, a qual devolvem posteriormente. Nestes casos, quanto maior a **deformação** do corpo elástico, maior a energia potencial elástica que armazena.

A energia potencial elástica de um corpo é função da sua rigidez e da sua deformação. Matematicamente, a energia potencial elástica de um corpo é dada pela relação:

$$E_E = 0.5k \Delta x^2$$

Na equação anterior, k representa a constante de elasticidade do objeto em questão e Δx a mudança de comprimento do mesmo a partir da sua posição inicial não deformada. A constante de elasticidade é expressa em N / m. Então, a energia potencial elástica é expressa por (N / m) m², ou seja, Nm, ou J.

Para que se conheça a energia potencial elástica armazenada num objeto ou tecido, é necessário que se considere a relação linear tensão/deformação característica desse objeto, ou tecido (k , constante de elasticidade). Essa é determinada pela razão entre a força a que o objeto ou tecido tem de ser sujeito e a deformação (em m) a que fica sujeito em função dessa força:

$$k = F / x$$

Autoavaliação

1. CLASSIFIQUE COMO VERDADEIRO (V) OU FALSO (F) AS SEGUINTE
AFIRMAÇÕES:

	VERDADEIRO	FALSO
a) Na relação fundamental da dinâmica “m” corresponde à medida de inércia.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) No princípio fundamental da dinâmica “F” é uma medida cinemática e “a” uma medida dinâmica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) A estática é o domínio a mecânica que lida com sistemas de forças equilibradas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) A Sociedade Internacional de Biomecânica convencionou que os eixos x, y e z representam, respetivamente, as dimensões horizontal antero-posterior, vertical e horizontal latero-medial.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Quando vemos alguém de lado a caminhar dizemos que a apreciamos no plano transversal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f) Os movimentos realizados em torno do eixo longitudinal descrevem-se no plano transversal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g) Quando tiramos as mãos dos bolsos das calças e as elevamos para a frente até acima da cabeça realizamos um movimento de flexão dos ombros.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h) O movimento de abdução consiste no movimento de aproximação dos segmentos corporais à linha média do corpo (deslocamento medial).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i) Para caracterizar a posição de um volume rígido no espaço com significado para a cinemática linear e angular, necessitamos de definir o vetor posição e a orientação espacial do objeto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j) Em cinemática podemos dizer que a partir da posição que um corpo assume em diferentes instantes do tempo podemos calcular as demais variáveis relevantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k) A perna a realizar o movimento de extensão sobre a coxa na articulação do joelho, constitui uma alavanca interpotente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
l) Quanto menor a base de sustentação, mais estável será o equilíbrio.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
m) Uma roldana simples permite reduzir significativamente o esforço necessário para mobilizar uma carga.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
n) É uma impossibilidade física que um corpo permaneça em movimento retilíneo uniforme se sobre ele não atuar nenhuma força resultante diferente de zero.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
o) Quando piso a Terra para me impulsionar para um salto, sujeito o planeta a uma força de intensidade igual e de sentido oposto àquela que ela me proporciona e que é responsável pelo meu salto.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



2. RESPONDA ÀS QUESTÕES:

- a) *Distinga deslocamento de distância percorrida.*

Deslocamento: _____

Distância: _____

- b) *Foi medida a velocidade horizontal de um nadador após a partida de blocos e imediatamente antes de entrar na água. Era de 3 m/s. Depois de contactar com a água, mergulhar completamente e deslizar um pouco, a sua velocidade horizontal passou a 2 m/s. A força resultante a que se submeteu foi favorável ou desfavorável à progressão do nadador?*

Imagine que o tempo de imersão e deslize foi de 1 s. Qual foi a aceleração a que o nadador foi sujeito ao passar de 3 m/s para 2 m/s? 1 m/s²; 2 m/s²; 10 m/s²; 20 m/s².

Se o nadador pesasse 100 kg, qual a intensidade da força que se opôs ao seu movimento horizontal?

1 N; 10 N; 100 N; 200 N; 2000 N.

- c) *Defina Impulso de uma força:* _____

- d) *Para conseguir remar com a máxima eficiência devo aplicar a minha força na extremidade do remo ou tão próximo quanto possível da fixação deste ao barco?*

Qual a grandeza física que se altera?

Momentum linear; Quantidade de movimento; Momento da força.

- e) *Para rodar tão rapidamente quanto possível na execução de um triplo mortal a partir da prancha de 10 m, um saltador deve assumir a posição engrupada, encarpada ou empranchada? Porquê?*

- f) *Se se considerarem as bolas de bilhar como corpos rígidos, na pancada de saída de um jogo de snooker, a soma da quantidade de movimento das bolas do triângulo é igual à _____*

CHAVE

- a) Deslocamento é a diferença entre os vetores posição inicial e final e Distância é o somatório dos deslocamentos parciais realizados;
b) Desfavorável, 1 m/s², 100 N;
c) Produto da intensidade da força pelo respetivo tempo de aplicação;
d) Extremidade, Momento da força;
e) Engrupada, Para reduzir o momento de inércia;
f) A quantidade de movimento da bola branca no momento do impacto.



GLOSSÁRIO

A

ABDUÇÃO

Movimento descrito em torno do eixo antero-posterior e no plano frontal, caracterizado por um afastamento lateral do segmento.

ACELERAÇÃO

Taxa de variação no tempo da velocidade de que está animado um ponto material ou um corpo.

ACELERAÇÃO ANGULAR

Taxa de variação no tempo da velocidade angular.

ACELERAÇÃO CENTRÍPETA

Aceleração decorrente da necessidade do corpo que gira estar sujeito a uma força centrípeta (que o puxa para o eixo de rotação) deformando continuamente a sua trajetória em torno desse eixo (alterando continuamente a direção do vetor velocidade linear).

ADUÇÃO

Movimento descrito em torno do eixo antero-posterior e no plano frontal, caracterizado por uma aproximação medial do segmento.

ALAVANCA

Máquina simples que permite a uma ação (potência) equilibrar uma resistên-

cia em mecânica angular. Caracteriza-se por um fulcro ou eixo de rotação, um ponto de aplicação da potência (cuja distância ao eixo define o “braço” da potência) e um ponto de aplicação da resistência (cuja distância ao eixo define o “braço” da resistência). São de três tipos: **alavanca de primeira ordem ou interfixa** (quando o fulcro está situado entre a potência e a resistência); **alavanca de segunda ordem ou inter-resistente** (quando a resistência se aplica entre o fulcro e a potência) e **alavanca de terceira ordem ou interpotente** (quando a potência se aplica entre o fulcro e a resistência).

ATRITO

A componente da força de contacto entre as superfícies de dois corpos em movimento relativo, ou tendência de movimento, exercida no plano estabelecido por essas superfícies e na mesma direção e sentido contrário ao movimento (ou tendência de movimento) relativo considerado.

ATRITO DINÂMICO OU CINÉTICO

É a força que atua sobre duas superfícies em movimento relativo de deslizamento, opondo-se a esse deslizamento (o mesmo que Atrito).

ATRITO ESTÁTICO

Constitui a força que é necessário vencer para colocar um corpo em movimento sobre outro.

B

BASE DE SUSTENTAÇÃO

Área na superfície de apoio formada pelas superfícies de apoio de um corpo e pela área entre elas. Trata-se da região do plano que, contendo a projeção vertical do centro de gravidade, não permite que a força da gravidade crie um momento de força que desequilibre o corpo.

C

CENTRO DE PRESSÃO

Ponto de aplicação da força de reação a um apoio.

CINEMÁTICA

Domínio da Mecânica onde se estuda o movimento, independentemente das forças em presença.

CINEMÁTICA ESPACIAL

Posição, deslocamento, velocidade e aceleração descritos no espaço (3D).

CINEMÁTICA LINEAR

Caraterização dos movimentos lineares.

CINEMÁTICA PLANAR

Posição, deslocamento, velocidade e aceleração descritos num plano (2D).



COORDENADAS CARTESIANAS

Sistema de eixos coordenados (x, y, z), ortogonais entre si, que permitem, através da medida do afastamento à origem em cada um, definir a posição de um corpo no espaço. As coordenadas cartesianas constituem o referencial do movimento por excelência.

CINEMÁTICA UNIDIMENSIONAL

Posição, deslocamento, velocidade e aceleração numa única dimensão (x, y ou z).

COEFICIENTE DE ATRITO

(Estático e dinâmico)

Grandeza adimensional que se atribui a um par de superfícies que contactam entre si e que depende da rugosidade dessas superfícies e do grau de acoplamento das mesmas.

D

DESLOCAMENTO

Variação da posição num dado intervalo de tempo.

DESLOCAMENTO ANGULAR

Variação no tempo da posição angular (numa, duas, ou três dimensões).

DINÂMICA

Domínio da Mecânica onde se estudam os efeitos de forças não equilibradas.

DISTÂNCIA PERCORRIDA

Somatório de todos os deslocamentos parciais realizados entre a posição inicial e final, que caracterizam o deslocamento.

DOMÍNIOS DA MECÂNICA

Os principais domínios da mecânica são a Estática, a Dinâmica e a Cinemática.

E

EFICIÊNCIA

Um processo de transformação de energia é tanto mais eficiente quanto menor for a entropia. A eficiência expressa o percentual (relativamente à energia útil inicial) da energia conservada como energia útil (para a realização de trabalho) após um processo de transformação ou transferência de energia.

EIXOS

Dimensões lineares que expressam uma direção ou dimensão (horizontal antero-posterior; horizontal latero-medial; vertical).

ENERGIA

Entidade física capaz de realizar trabalho. Só se realiza trabalho quando se transfere energia de um corpo para outro, provocando o deslocamento do(s) corpo(s).

ENERGIA CINÉTICA

Também designada por energia do movimento, é determinada pela massa do corpo em movimento e pela respetiva velocidade ($E_c = 0.5 m \cdot v^2$).

ENERGIA MECÂNICA

Soma da energia cinética e da energia potencial de um corpo.

ENERGIA POTENCIAL

É a energia livre disponível para ser libertada e realizar trabalho.

ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

É a energia que é armazenada pela deformação de um corpo não completamente rígido. É função da constante de elasticidade (k) característica do material do corpo em questão e da respetiva deformação (Δx) – $EE = 0.5 k \Delta x^2$.

ENERGIA POTENCIAL

GRAVITACIONAL

É a energia livre ou potencial de um corpo que resulta da sua posição relativamente à Terra, sendo determinada pela massa do corpo e pela altitude em relação ao solo (geralmente considerado ao nível médio do mar) – $EP = m g h$.

ENTROPIA

Medida da perda de energia útil quando se realiza trabalho ou se transfere energia.

EQUILÍBRIO

Condição em que todas as forças e momentos de força aplicados a um dado corpo se compensam recípro-



camente, apresentando resultante nula.

EQUILÍBRIO ESTÁTICO

Condição em que uma situação de equilíbrio se verifica na ausência de movimento.

EQUILÍBRIO DINÂMICO

Condição em que uma situação de equilíbrio se verifica em movimento, o que é o mesmo que dizer, em situação de movimento linear uniforme (com aceleração nula).

ESPAÇO

Volume definido por três dimensões – ou eixos – (3D) ortogonais entre si.

ESTÁTICA

Domínio da Mecânica onde se estuda o equilíbrio entre forças.

EVERSÃO

Movimento complexo de rotação externa e flexão dorsal do pé, afastando as superfícies plantares entre si.

EXTENSÃO

Movimento descrito em torno do eixo coronal ou frontal, no plano sagital, que aproxima os segmentos da metade posterior do corpo (exceção para a articulação do joelho).

F

FLEXÃO

Movimento descrito em torno do eixo coronal ou frontal, no plano sagital, que aproxima os segmentos da metade anterior do corpo (exceção para a articulação do joelho).

FORÇA

Entidade mecânica central que exprime a relação física entre dois corpos, que é responsável pela alteração do estado de repouso ou de movimento de um corpo, ou pela respetiva deformação.

FORÇA EXTERNA

Força produzida fora do sistema mecânico considerado.

FORÇA INTERNA

Força aplicada ou produzida no interior do sistema mecânico considerado.

FREQUÊNCIA

Inverso do período, traduz o número de ciclos completos realizados por unidade de tempo.

I

IMPULSO

É dado pelo produto de uma força pelo tempo durante o qual foi aplicada a um dado corpo. É dado pela variação da quantidade de movimento de um corpo.

INCLINAÇÃO LATERAL

Movimento descrito em torno do eixo antero-posterior e no plano frontal, distinguindo-se as variantes à direita e à esquerda.

INÉRCIA

Característica de um corpo que determina a forma como ele se opõe à alteração do seu estado de repouso ou de movimento, normalmente associada à sua massa, e à forma como esta se distribui em torno de um eixo de rotação.

INVERSÃO

Movimento complexo de rotação interna e flexão dorsal do pé, aproximando as superfícies plantares entre si.

ISAAC NEWTON (1642-1727)

Grande Físico, pai da Mecânica Clássica, que formulou as três Leis do Movimento e a Lei da Gravitação Universal.

J

JOULE (J)

Medida do trabalho realizado por uma força de 1N (Newton) ao deslocar o seu ponto de aplicação em 1 m.

L

LATERAL

Relativo à região externa do corpo.



LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Formulada por Isaac Newton, estabelece que dois corpos atraem-se entre si com forças de sentido contrário e igual intensidade, a qual é proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa os corpos.

M

MASSA

É a quantidade de matéria que compõe um dado corpo, que define a sua inércia e que concorre para definir o seu peso.

MEDIAL

Relativo à região central do corpo.

MOMENTO DE FORÇA

Medida do efeito de uma força em mecânica angular. É dado pelo produto da intensidade da força pela distância perpendicular desta ao eixo de rotação (braço da força).

MOMENTO DE INÉRCIA

Medida da inércia no movimento angular, é determinado pelo produto da massa pelo quadrado do seu afastamento ao eixo de rotação (raio de giração).

MOVIMENTO ANGULAR (OU MOVIMENTO DE ROTAÇÃO)

Movimento caracterizado por todos os pontos de um dado corpo ou segmento corporal realizarem o

mesmo deslocamento angular em torno de um dado eixo num mesmo intervalo de tempo.

MOVIMENTO COMBINADO OU MISTO

Movimento que combina movimento linear e movimento angular.

MOVIMENTO LINEAR (OU MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO)

Movimento caracterizado por todos os pontos de um dado corpo ou segmento corporal realizarem o mesmo deslocamento linear (numa, duas ou três dimensões) num mesmo intervalo de tempo.

MOVIMENTO (LINEAR OU ANGULAR) UNIFORME

Movimento caracterizado por velocidade (linear ou angular) constante.

MOVIMENTO (LINEAR OU ANGULAR) UNIFORMEMENTE VARIADO

Movimento caracterizado por aceleração (linear ou angular) constante.

MOVIMENTO (LINEAR OU ANGULAR) VARIADO

Movimento caracterizado por aceleração (linear ou angular) variável.

P

PERÍODO

Tempo que demora a realizar uma rotação completa em torno de um eixo.

PESO

Força com que a massa da Terra atrai os corpos para o seu centro. É dada pelo produto da massa do corpo pela aceleração da gravidade.

PLANO

Entidade geométrica definida por duas dimensões - ou eixos - (2D) ortogonais.

PLANO FRONTAL

Plano definido pela dimensão vertical (y) e pela dimensão horizontal latero-medial (z). Divide o corpo humano nas metades ventral e dorsal.

PLANO SAGITAL

Plano definido pela dimensão horizontal antero-posterior (x) e pela dimensão vertical (y). Divide o corpo humano nas duas metades direita e esquerda.

PLANO TRANSVERSO

Plano definido pela dimensão horizontal antero-posterior (x) e pela dimensão horizontal latero-medial (z). Divide o corpo humano nas metades superior e inferior.

PLANO INCLINADO

É mais uma máquina simples que permite realizar um mesmo trabalho aplicando menos força, mas aumentando a distância percorrida.

PONTO MATERIAL OU PARTÍCULA

Ponto sem dimensões e com a massa do corpo que representa.

POSIÇÃO

Ponto (definido numa, duas ou três dimensões) que caracteriza o afastamento



à origem de um sistema de coordenadas de um dado corpo.

POSIÇÃO ANATÓMICA

Posição corporal a partir da qual se descrevem os movimentos segmentares. Caracteriza-se pela posição vertical direita, com os pés juntos e os membros superiores ao longo do corpo, estando as mãos com as superfícies palmares orientadas para a frente.

POSIÇÃO ANGULAR OU ORIENTAÇÃO ESPACIAL

Ângulo formado por cada uma das dimensões características do corpo (comprimento, largura e profundidade) em relação a cada um dos eixos de um sistema de coordenadas.

POTÊNCIA

A potência mede o trabalho realizado por unidade de tempo, correspondendo, por isso, à energia transferida por unidade de tempo de um corpo para outro através da aplicação de uma força ao longo de um deslocamento realizado a uma dada velocidade.

PRIMEIRA LEI DO MOVIMENTO DE NEWTON

Ver “princípio da inércia”.

PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO

Terceira lei do movimento de Newton. À ação de uma força corresponde sempre a uma reação oposta de igual intensidade, exercida na mesma direção e em sentido contrário.

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA CINÉTICA

Em colisões elásticas, a energia cinética de um corpo que colide com um outro é-lhe inteiramente transmitida e a energia cinética total mantém-se constante.

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR

Também a exemplo do descrito para a mecânica linear, o momento angular de um corpo ou de um conjunto de corpos, mantém-se constante a não ser que sobre ele atue um momento de força diferente de zero.

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DO MOMENTO LINEAR

A quantidade de movimento total de um conjunto de objetos permanece inalterada, a não ser que uma força externa atue sobre o sistema.

PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA

Segunda lei do movimento de Newton. A mudança do estado de movimento de um corpo é inversamente proporcional à sua massa e diretamente proporcional à intensidade da força motora, realizando-se na direção e sentido desta.

PRINCÍPIO DA INÉRCIA

Primeira lei do movimento de Newton. Um corpo permanece imóvel ou animado de movimento uniforme se sobre ele não atuar uma força resultante de intensidade diferente de zero.

PROJÉTIL

Corpo sólido, com massa diferente de zero, lançado e abandonado no espaço.

PRONAÇÃO

Movimento segmentar de rotação interna realizado em torno do eixo vertical ou sagital, descrito no plano transversal.

Q

QUANTIDADE DE MOVIMENTO

O mesmo que momento linear ou *momentum*. É medida pelo produto da massa de um corpo pela velocidade de que se encontra animado. A variação da quantidade de movimento de um corpo no tempo define a força a que foi sujeito.

QUANTIDADE DE MOVIMENTO ANGULAR OU MOMENTO ANGULAR

A exemplo do que foi descrito para a quantidade de movimento linear, o momento angular é dado pelo produto da velocidade angular pela medida da inércia angular, no caso o momento de inércia do corpo.

R

RADIANO

Medida de distância angular no Sistema Internacional de Unidades. Um radiano equivale a $57,3^\circ$ ($2\pi\text{rad} = 360^\circ$).



RAPIDEZ

Taxa de variação no tempo da distância percorrida por um ponto material ou um corpo.

ROLDANA

Máquina simples que permite condicionar/modificar a direção de aplicação de uma força. Se utilizada em par permite mobilizar uma carga com um esforço menor do que aquela.

REFERENCIAL ABSOLUTO OU DE LABORATÓRIO

Aquele que não apresenta movimento relativamente à Terra.

REFERENCIAL DE INÉRCIA

Sistema de coordenadas cartesianas com origem num ponto estacionário ou animado de movimento uniforme, através do qual se possa descrever o movimento de um corpo.

REFERENCIAL RELATIVO

Referencial que se reporta exclusivamente ao corpo ou segmento considerado, apresentando ou não movimento relativo em relação à Terra.

RENÉS DESCARTES (1596-1650)

Sábio francês, pai da Geometria Analítica.

S

SEGUNDA LEI DO MOVIMENTO DE NEWTON

Ver “princípio fundamental da dinâmica”.

SUPINAÇÃO

Movimento oposto à pronação; rotação externa realizada em torno do eixo vertical ou sagital e descrita no plano transversal.

T

TERCEIRA LEI DO MOVIMENTO DE NEWTON

Ver “princípio da ação e reação”.

TRABALHO

Medida da energia transferida de um corpo para outro através da aplicação de uma força ao longo de um deslocamento.

V

VELOCIDADE

Taxa de variação no tempo do deslocamento de um ponto material ou um corpo.

VELOCIDADE ANGULAR

Taxa de variação no tempo do deslocamento angular.

VETOR DESLOCAMENTO

Segmento de reta que une a extremidade distal de dois vetores posição de um ponto assumidos em dois instantes do tempo distintos. Pode caracterizar-se numa só dimensão (unidimensional linear),

em duas dimensões (bidimensional, 2D, ou planar), ou em três dimensões (tridimensional, 3D, ou espacial), consoante envolva alterações de um, dois ou três dos vetores coordenadas x , y e z .

VETOR POSIÇÃO

É o segmento de reta que caracteriza o afastamento de um ponto considerado em relação à origem do sistema de coordenadas cartesianas num dado momento.

VETORES COORDENADAS

São os segmentos de reta medidos em cada eixo coordenado (x , y ou z) que caracterizam o afastamento relativo de um dado corpo à origem na dimensão (eixo ou coordenada) considerada.

W

WATT (W)

Medida de potência. 1 W corresponde ao trabalho de 1 J realizado em 1 s.



Índice

CAPÍTULO III.

3. A BIOMECÂNICA NA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DESPORTIVO E NO FORNECIMENTO DE <i>FEEDBACK</i> AO EXECUTANTE	79
3.1 CINEMETRIA	79
3.1.1 Variáveis cinemáticas	80
3.1.2 Meios de avaliação cinemática	80
3.1.3 Cinemetria qualitativa, semiquantitativa e quantitativa	84
3.1.4 Referenciação planar e referenciação espacial: definições de posição e de deslocamento (lineares e angulares)	85
3.1.5 Digitalização e scaling fator	86
3.1.6 Referenciação cromométrica	87
3.1.7 Cronofotografia (nota histórica)	88
3.1.8 Fotografia do traçado luminoso (nota histórica)	89
3.1.9 Cinematografia e vídeo	89
3.1.9.1 Processamento cinemático bidimensional ou tridimensional	92
3.1.9.2 Fontes de erro no registo de imagens do movimento a estudar	93
3.1.9.3 Procedimentos para o registo de imagens	95
3.1.9.3.1 Imagens para processamento 2D	95
3.1.9.3.2 Imagens para processamento 3D	97
3.1.10 Sistemas ótico-eletrónicos e eletromagnéticos de aquisição automática de coordenadas de pontos notáveis	99
3.1.11 Sistemas de <i>tracking</i> (vídeo ou GPS)	100
3.1.12 Outros dispositivos cinemáticos	101
3.1.12.1 Velocímetros	101
3.1.12.2 Acelerómetros	102
3.1.12.3 Electrogoniómetros	102

CONTINUA

1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA
2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA
3. A BIOMECÂNICA NA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DESPORTIVO E NO FORNECIMENTO DE *FEEDBACK* AO EXECUTANTE



Índice

CAPÍTULO III.

3.2 DINAMOMETRIA	103
3.2.1 Dinamometria interna e externa	103
3.2.2 Meios dinamométricos externos	106
3.2.2.1 Dinamómetros dedicados	106
3.2.2.2 Plataforma de forças	108
3.2.2.3 Sistemas podobarométricos	110
3.2.2.4 Extensometria	112
3.3 MORFOMETRIA OU ANTROPOMETRIA BIOMECÂNICA	112
3.4 ELETROMIOGRAFIA	114
3.5 TERMOGRAFIA	117
AUTOAVALIAÇÃO	118
CONCLUSÃO	120
GLOSSÁRIO	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123

VOLTAR

1. INTRODUÇÃO À BIOMECÂNICA
2. DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON E DAS INTERPRETAÇÕES DE EULER À ANÁLISE DA TÉCNICA DESPORTIVA
3. A BIOMECÂNICA NA AVALIAÇÃO DO MOVIMENTO DESPORTIVO E NO FORNECIMENTO DE *FEEDBACK* AO EXECUTANTE





OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- Destacar a importância da avaliação biomecânica do movimento desportivo;
- Enunciar os domínios de avaliação biomecânica;
- Enumerar as variáveis cinemétricas fundamentais;
- Descrever os principais meios de avaliação cinemétrica do movimento;
- Distinguir cinemética qualitativa, semiquantitativa e quantitativa;
- Explicar como se referencia os registos de movimento (linear e angular);
- Explicar a utilização de fatores de escala em técnicas cinemétricas baseadas em imagem;
- Enunciar os meios de referenciação cronométrica do movimento;
- Explicar a utilização da fotografia, do cinema e do vídeo em cinemética;
- Descrever os sistemas de aquisição automática de coordenadas de pontos de um corpo em movimento;
- Analisar as fontes de erro em processamento cinemétrico;
- Descrever outros dispositivos cinemétricos não imagiológicos;
- Distinguir dinamometria interna e externa;
- Explicar as virtualidades da abordagem dinamométrica inversa e descrever sumariamente a sua metodologia;
- Descrever os principais meios dinamométricos diretos: dinamómetros dedicados, plataformas de força, sensores de pressão e extensómetros;
- Explicar a natureza de um modelo antropométrico biomecânico;
- Descrever as soluções existentes para a modelação antropométrica biomecânica;
- Explicar a natureza dos registos electromiográficos e a sua relevância para o estudo biomecânico;
- Descrever as técnicas de registo e processamento do sinal electromiográfico;
- Justificar a necessidade de uma avaliação objetiva de base quantitativa do movimento desportivo;
- Relacionar os domínios de avaliação biomecânica com as diferentes dimensões do movimento (o movimento em si mesmo, as forças que o determinam e a inércia que o condiciona);
- Enunciar e relacionar as variáveis cinemétricas fundamentais;
- Enumerar, caracterizar e distinguir os principais meios de avaliação cinemétrica do movimento;
- Referenciar espacial e temporalmente o movimento registado;
- Distinguir as principais fontes de erro em cinemética imagiológica;
- Compreender o processo inverso em dinamometria;
- Reconhecer os principais meios de avaliação dinamométrica do movimento;
- Explicar a organização de um modelo antropométrico biomecânico;
- Enumerar as soluções disponíveis para a modelação antropométrica biomecânica;
- Relacionar produção de força por um músculo e sinal electromiográfico;
- Enumerar as técnicas de registo e as etapas de processamento do sinal electromiográfico.



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

Do que estudámos nos capítulos anteriores, entenderemos facilmente que as diferentes entidades mecânicas que referimos e detalhámos constituirão medidas relevantes para o estudo do movimento no desporto, a técnica desportiva, mas também os impactos e as deformações e fraturas associadas. São, portanto, variáveis a considerar para o fornecimento de *feedback* ao executante e ao treinador para o desenvolvimento da capacidade de desempenho do atleta; ou ao médico para o entendimento dos mecanismos da lesão; ou mesmo ao fisiologista para que se entendam as razões subjacentes ao dispêndio energético associado à tarefa.

Apesar de todas as variáveis serem importantes, algumas de entre elas poderão ser consideradas variáveis elementares, a partir das quais se poderão calcular a generalidade das restantes. As variáveis elementares são fundamentalmente de três tipos: cinemáticas, dinâmicas ou cinéticas e inerciais. Nesta medida, distinguem-se normalmente, na avaliação biomecânica, três domínios de intervenção:



A Morfometria, quando referida à biomecânica humana, é muito frequentemente referida como Antropometria Biomecânica.

Às categorias anteriores alguns autores juntam também a Eletromiografia e, mais recentemente, a Termografia. Como veremos, porém, qualquer delas se reporta ao estudo de variáveis que são indicadores indiretas das variáveis biomecânicas mais elementares e que mais devem concitar a nossa atenção.

3.1 Cinemetria

A avaliação de variáveis cinemáticas designa-se habitualmente por **Cinemetria**, termo que se reporta explicitamente à medida (“metria”) do movimento (“cine”). Trata-se, portanto da avaliação que **permite caraterizar o movimento em si mesmo**, a sua forma e as suas caraterísticas espaço-temporais, independentemente das suas causas dinâmicas.



PROPOSTA DE TRABALHO

DESAFIO

USE UM BLOCO DE APONTAMENTOS E UM LÁPIS OU ESFEROGRÁFICA.

- Liste quais as variáveis que colocaria em cada uma das categorias anteriores;
- Procure sequenciá-las da mais elementar para a mais complexa, ou composta, em cada categoria.



3.1.1 VARIÁVEIS CINEMÉTRICAS

As variáveis cinemáticas elementares são a **posição** (linear e angular) do corpo, do segmento corporal, ou do ponto considerado e o instante temporal (o **tempo**) em que essa posição é assumida. A sua determinação constitui, portanto, a tarefa fundamental deste domínio de avaliação biomecânica, distinguindo-se, em conformidade, uma **cinemetria linear**, uma outra **cinemetria angular** e, finalmente, uma **cinemetria mista** (linear e angular). A sucessão de posições definirá a **trajetória** (linear e/ou angular) do movimento. A variação da posição num dado intervalo de tempo (medido em segundos) dá-nos conta do **deslocamento** (linear e/ou angular). Quanto maior a distância (em m ou rad, ou graus) que o corpo se desloca num dado intervalo de tempo, maior será a **velocidade** (linear e/ou angular) de deslocamento e quanto mais variar a velocidade entre intervalos de tempo sucessivos, maior será a **aceleração** (linear e/ou angular). Se se lembra, tempo, posição, deslocamento, velocidade e aceleração são as grandezas cinemáticas e, portanto, as variáveis cinemáticas relevantes.

3.1.2 MEIOS DE AVALIAÇÃO CINEMÉTRICA

O desenvolvimento tecnológico conseguido até à atualidade permitiu que a cinemetria se faça hoje através de dispositivos de avaliação direta, que monitorizam a posição e o tempo e dispositivos de avaliação inversa (cinemática inversa), que monitorizam a aceleração a partir da relação fundamental da dinâmica, registando a força (ou o momento de força) exercida sobre uma massa conhecida.



PROPOSTA
DE TRABALHO

. RESPONDA

- Que meios e que solução escolheria para descrever o seu percurso durante a viagem de automóvel que realizou nas últimas férias?
- Como descreveria o raide realizado pelo seu futebolista preferido no último golo solitário que marcou, partindo de antes da linha do meio-campo?
- Como descreveria a corrida que proporcionou a última medalha de Obikwelu nas corridas de velocidade?

Tentemos adivinhar as suas respostas às perguntas anteriores...

Será que utilizaria um mapa e mostraria de onde partiu de manhã, que estradas usou, por onde passou à hora de almoço, do lanche e, finalmente, por onde viajou até ao lugar que escolheu para jantar e dormir? O que fez, de facto, foi ir mostrando lugares (posições) por onde passou, nos diferentes “tempos” do dia. Efetivamente estabeleceu uma relação de sucessivas posições e tempo em que as mesmas foram ocupadas.



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

No caso do futebolista faria o mesmo. Descreveria como ganhou a bola no ressalto defensivo, como se dirigiu para a linha lateral, driblou um centro-campista adversário, infltiu para o centro do terreno sobre a linha central, driblou novo adversário com o pé esquerdo virando à direita direto à baliza. Pelo caminho, abrandou para enfrentar o central, que driblou, correu então com um “pique” fantástico até rematar na passada para golo. Fantástico! Repare que não fez mais do que relatar onde o jogador ia estando (que posições ia ocupando) em cada instante (antes, depois) do tempo.

No último caso, provavelmente referir-se-ia à primeira fase de corrida, com o corpo inclinado para diante, cada vez correndo mais depressa, até atingir a velocidade máxima, já com o tronco direito, a qual procurou manter até ao final, onde de novo inclinou fortemente o tronco para a frente, de forma a chegar adiante, à posição mais avançada onde se encontra a meta, antes dos adversários.

Se para o primeiro caso utilizou o mapa e os momentos relevantes do dia, nos segundo e terceiro casos provavelmente utilizou as imagens da televisão, ou imagens de vídeo que registou. Nestas até pode medir o tempo decorrido entre posições relevantes, com algum rigor, se contar que, normalmente, entre cada duas imagens sucessivas decorrem 0.25s. Poderá também medir a distância percorrida se souber as dimensões reais das linhas marcadas no campo e na pista e se o deslocamento se realizar próximo e paralelamente a estas, contabilizando que porção dessas linhas foi percorrida em cada $\frac{1}{4}$ de segundo.



De facto, a cinematria recorre normal e predominantemente a instrumentos de **registo de imagem** do movimento que se pretende analisar. Recorre também a instrumentos não imagiológicos, normalmente muito criativos.

Na generalidade, todos os dispositivos que permitam registar imagens de um corpo em movimento, são instrumentos de utilidade cinemétrica. Curiosamente, inclusive a **fotografia** permite registar movimento, apesar da ideia que temos dela ser, sobretudo, de uma técnica que nos faculta representações fixas de pessoas e lugares; representações “congeladas” num dado instante do fio do tempo. O **filme** não é mais do que uma sucessão de fotografias, mostrando como se encadeiam as posições assumidas em cada instante que corresponde a cada fotografia, que no filme se designa por fotograma, e como o movimento se desenvolve no tempo. Fotografia e filme são processos ótico-químicos, ou fotoquímicos, uma vez que recorrem a uma reação química produzida na película quando esta é exposta à luz (foto). Durante algumas décadas a humanidade recorreu ao filme para registar imagens em movimento (das férias, de momentos históricos, do crescimento



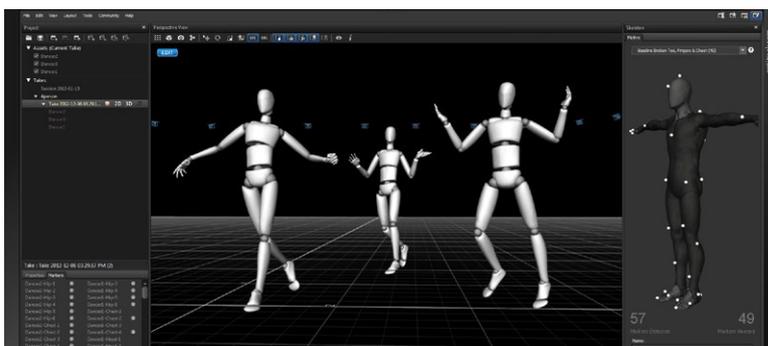


das crianças, dos casamentos e batizados, de eventos desportivos). Antes recorria-se apenas à fotografia. Mais recentemente o filme começou a ser desafiado e, depois, acabou manifestamente ultrapassado pela tecnologia vídeo analógica (ótico-eléto-magnético) e, depois, digital (ótico-eletrónico). O desenvolvimento da eletrónica permitiu ainda o desenvolvimento de sistemas sensíveis à luz (fotossensíveis), não produtores de imagem, que se vieram a revelar extraordinariamente úteis na biomecânica atual (sistemas de aquisição automática de coordenadas por retro-reflexão de luz infravermelha). Outros sistemas de registo de imagem, nomeadamente de imagem interna de sistemas biológicos, dita imagem radiológica ou imagem médica, como a radiografia, o RX dinâmico, a videofluoroscopia, a ultrassonografia (vulgo ecografia), a tomografia axial computadorizada (TAC), a ressonância magnética nuclear (RMN) e a tomografia por emissão de positrões (PET), podem também ter utilidade cinemétrica biomecânica. Nomeadamente por poderem permitir o estudo do movimento de estruturas anatómicas internas, como por exemplo o encurtamento muscular durante uma contração, ou o alongamento tendinoso.



A fotografia desempenhou inicialmente um papel decisivo na cinematria, nomeadamente através de soluções cronofotográficas de exposição múltipla de uma mesma película, ou de exposição simples com iluminação múltipla, como no caso das cenas iluminadas com luzes estroboscópicas de elevada frequência de disparo.

Depois, com o advento do cinema e do vídeo, o recurso predominante transferiu-se sucessivamente para a primeira e, depois, para a segunda destas técnicas de registo de imagem. Atualmente, em biomecânica desportiva, as principais técnicas para o registo e o estudo biomecânico do movimento são, de facto, a videografia (vídeo) e as técnicas de aquisição automática de coordenadas. Este protagonismo da imagem (vídeo) tem muito a ver com



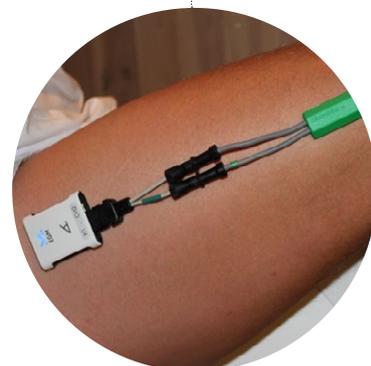
A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

a necessidade de preservar tanto quanto possível a validade ecológica dos estudos, pretendendo-se minimizar a afetação da prestação pelo envolvimento avaliativo, nomeadamente reduzindo os constrangimentos aos movimentos, e às suas expressões, determinados pelos equipamentos, contexto e situação de avaliação, se possível mesmo evitando retirar o atleta da sua situação efetiva de prática, do nicho ecológico da sua realização desportiva, obrigando-o a ir ao laboratório. De facto, a tecnologia vídeo opera com facilidade quer em situação laboratorial, quer em situação de terreno, virtualmente não interferindo, em qualquer dos contextos, com a performance do sujeito. Estas características conferem às técnicas imagiológicas – e particularmente ao vídeo –, uma superioridade evidente relativamente a outras, quer em cinematria, quer no contexto mais geral da biomecânica desportiva. Todavia, as demais são também da maior utilidade, nomeadamente porque a capacidade discriminativa da videometria nem sempre é a ideal e, depois, porque nem sempre esta técnica se adequa aos vários designs dos programas de avaliação ou, tão simplesmente, porque não permite medir todas as variáveis biomecânicas relevantes.

Entretanto, alguns outros instrumentos e métodos cinemétricos permitem apenas o registo da posição ou de parte do movimento de pontos relevantes do corpo considerado; algumas vezes aumentando o rigor da leitura e outras apenas adequando-se melhor ao já referido design do estudo. Destes destacam-se, para além da fotografia, nomeadamente da fotografia do traçado luminoso, de que falaremos mais em detalhe à frente, dos dispositivos de digitalização automática de registos vídeo e dos métodos ótico-eletrónicos de aquisição automática das coordenadas espaciais de pontos relevantes, os **velocímetros**, os **acelerómetros** e os **electrogoniómetros**.

A **fotografia do traçado luminoso contínuo ou intermitente**, os dispositivos de **digitalização automática de registos vídeo** e os **métodos ótico-eletrónicos de aquisição automática das coordenadas espaciais** de pontos relevantes, enfermam ou do quadro de limitações relativas à necessária instrumentação do sujeito, ou ao condicionamento do envolvimento. Impõem, nomeadamente, que as sessões de avaliação sejam realizadas em condições particulares de iluminação e de *background*, para além de determinarem que se coloquem nos pontos anatómicos de referência, dispositivos emissores ou refletos de luz, ou outras marcas especiais de grande visibilidade, constrangendo de alguma maneira, a mais pura expressão do movimento desportivo.

Os **velocímetros**, entretanto, são dispositivos concebidos para monitorizar diretamente a velocidade. Na maioria dos casos recorre-se a radares, ou a dispositivos por cabo, ligados a um “tambor” cuja velocidade angular é registada e calculada a respetiva equivalente linear. No fundo, estes dispositivos medem a posição do corpo em cada momento em que a mesma é amostrada e permitem calcular a velocidade entre duas medições sucessivas, calculando o deslocamento num dado intervalo de tempo.





Os **acelerómetros**, por seu lado, são utilizados para o registo da aceleração a que se sujeita um dado ponto do corpo em análise. Normalmente operam por efeito de inércia; isto é, medem a força responsável pela reação à deformação de um corpo (uma lâmina metálica, normalmente), que tem acoplada uma dada massa, quando esta é acelerada. A força é, para uma massa constante, proporcional à aceleração a que aquela foi sujeita, pelo que se torna possível calcular a aceleração. Depois, é possível, por integração, calcular a velocidade num determinado intervalo de tempo e, finalmente, integrando de novo, a variação da posição, ou deslocamento. Chama-se a este procedimento, **cinemática inversa**.

Os **electrogoniómetros**, por seu lado, permitem monitorizar, também em ordem ao tempo, o curso do movimento angular de uma articulação, normalmente medindo a variação da resistência elétrica num potenciómetro, que varia em função da angulação de dois braços.

Com exceção do radar, qualquer dos instrumentos antes referidos implica a instrumentação do sujeito, ou seja, a acoplagem de equipamentos mais ou menos sofisticados, pesados e constritores, com um efeito inibidor do desempenho não desprezável, pelo que a sua utilização se restringe, maioritariamente, a condições laboratoriais, ou próximas, e na perseguição de objetivos muito específicos. Normalmente nenhum atleta permite, nem a generalidade dos regulamentos desportivos o autoriza, que o praticante possa utilizar estes equipamentos em situação real de prática competitiva.

3.1.3 CINEMETRIA QUALITATIVA, SEMIQUANTITATIVA E QUANTITATIVA

A avaliação biomecânica pode revestir características **qualitativas e quantitativas**. No que respeita à avaliação cinemática, ou cinemétrica, esta classificação ganha especial relevância, já que a avaliação qualitativa se reporta maioritariamente à forma do movimento. Todavia, dada a natureza das abordagens possíveis, é normalmente ainda considerada uma categoria intermédia entre a avaliação qualitativa e a avaliação quantitativa, que habitualmente se designa por **avaliação biomecânica semiquantitativa**; trata-se do estudo de variáveis simples do movimento, seja no domínio do tempo ou do espaço, como duração de fases de um ciclo gestual, durações de ciclos (e respetivos valores da frequência gestual), deslocamentos por fase, ou deslocamento por ciclo. Especialmente para as aproximações, as variáveis no domínio do tempo, durações nomeadamente, não é praticamente necessário qualquer equipamento sofisticado, bastando um leitor de vídeo com um bom controlo de *slow motion*, ou de passagem imagem a imagem. Outros autores não chegam, inclusivamente, a classificar estas variáveis como variáveis biomecânicas, classificando-as simplesmente como “variáveis cronométricas”.

A avaliação cinemática reporta-se, portanto, como já afirmámos, ao estudo da forma dos movimentos realizados pelos corpos, movimentos que, naturalmente, são referenciados ao tempo em que decorrem e ao espaço em que se desenvolvem.



3.1.4 REFERENCIAÇÃO PLANAR E REFERENCIAÇÃO ESPACIAL:

DEFINIÇÕES DE POSIÇÃO E DE DESLOCAMENTO (LINEARES E ANGULARES)

Como vimos no capítulo dedicado à cinemática, conhecer a posição de um corpo, de um sistema de pontos ou de um ponto num plano, exige que se determinem, para a posição de cada ponto relevante, os valores das respetivas coordenadas nas dimensões que definam esse plano. Falamos, neste caso, de referenciação planar ou bidimensional (2D). Por convenção estabelecida pela *International Society of Biomechanics* (ISB), o plano sagital é representado pelo sistema de coordenadas (x, y), o plano frontal pelo sistema (y, z) e o plano transverso pelo sistema (x, z). Dito de outra forma, o eixo dos xx corresponde à dimensão horizontal (antero-posterior), o eixo dos yy à dimensão vertical e o eixo dos zz à dimensão lateral-medial. Chamam-se a estas coordenadas **coordenadas planares** e representam-se por dois números reportados às escalas dos dois eixos ortogonais em consideração, eixos esses que definem as dimensões em causa (comprimento, altura ou profundidade).

Mais complexa é a definição da posição espacial de um ponto, já que requer a sua referenciação a um sistema de coordenadas espaciais (x, y, z). Falamos, neste caso, de **referenciação espacial ou tridimensional** (3D). Conhecendo o sistema de coordenadas que localizam o ponto no espaço, conhecemos também a respetiva posição planar em qualquer dos 3 planos.

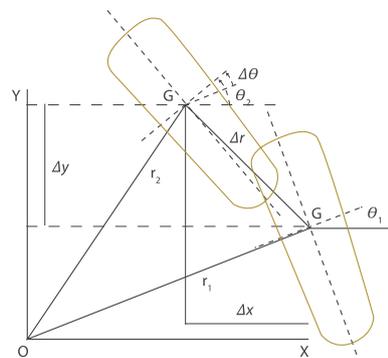
Esta referenciação, entretanto, pode ser absoluta ou relativa, consoante o referencial utilizado. Fala-se de **referenciação absoluta** quando se reporta a um referencial imóvel colocado na origem, ou a uma distância conhecida da origem (a este referencial chamamos também **referencial de inércia**). Referimo-nos a **referenciação relativa** quando o referencial está também ele em movimento, podendo, neste caso, ser interno (um outro ponto do corpo, por exemplo), ou externo.

A definição da posição de um ponto no plano ou no espaço é suscetível de ser conseguida apenas pelas respetivas coordenadas, que definem o vetor posição. Esta solução é válida, por exemplo, para caracterizar a posição do CG de um desportista num momento particular da sua performance. O mesmo, porém, já não se passa se quisermos conhecer a posição de um corpo no espaço, a posição do corpo do desportista, por exemplo. Nesse caso temos de conhecer as coordenadas de pelo menos dois pontos do referido corpo, os quais definam a sua orientação espacial (ou posição angular). Tomemos o exemplo do corpo representado na figura ao lado.

De r_1 para r_2 o CG do corpo sujeitou-se a um deslocamento linear Δr , traduzido pelo que designamos por vetor deslocamento, o qual é definido pela diferença das coordenadas x e y dos vetores posição r_1 e r_2 . Na posição r_1 , a largura do corpo, define um ângulo θ_1 com a horizontal, designado por posição angular, enquanto que na posição r_2 esse ângulo passou a θ_2 . Entre r_1 e r_2 , o corpo sujeitou-se, portanto, a um deslocamento angular $\Delta\theta$. Neste caso $\Delta\theta$ foi positivo por se ter realizado no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.



Sistemas de coordenadas locais (na perna), designado referencial relativo; e globais (referencial de inércia), designado referencial absoluto.





3.1.5 DIGITALIZAÇÃO E SCALING FATOR

As coordenadas de um ou mais pontos no plano da imagem captada por uma câmara de vídeo, de filmar, ou fotográfica, são normalmente determinadas através da digitalização desses pontos. A digitalização dos pontos notáveis da imagem consiste na sua transformação em coordenadas informáticas, seja do ecrã do computador, seja da área de trabalho de uma mesa de digitalização. Depois de obtidas, as coordenadas informáticas são arquivadas em memória, podendo ou não ser convertidas em coordenadas reais. Para a conversão de coordenadas informáticas em coordenadas reais é necessário dispor de um mecanismo de calibração recíproco. Um **mecanismo de calibração de coordenadas** consiste, basicamente, em assumir, na imagem, uma ou mais dimensões lineares reais previamente conhecidas (escalas) e, através dela(s), informar o sistema informático da constante de proporcionalidade entre as dimensões informáticas, os *pixels* da imagem, e as dimensões reais (fator de escala, ou *scaling fator*). Para tal recorre-se normalmente a “réguas” ou “sistemas” de calibração de expressão bidimensional ou tridimensional.

Importa referir desde já que as escalas de calibração devem assumir uma dimensão próxima quer do **volume de performance**, quer do **plano de performance**, consoante se considere, respetivamente, cinematria 3D ou 2D. Por volume e plano de *performance* entende-se o espaço (rebatido ou não num plano) em que decorre a ação, ou a parcela da ação, que se pretende estudar. Os volumes ou planos de calibração devem obrigatoriamente conter os volumes ou planos de *performance*, sob pena de os erros de conversão de coordenadas virtuais em coordenadas reais serem muito elevados e comprometerem a qualidade dos resultados finais.



A obtenção de coordenadas dos vários pontos relevantes é determinante nas análises quantitativas de movimentos representados através de imagens.

Para a obtenção de coordenadas a partir de imagens de cinema era necessário o recurso a uma mesa de digitalização para filmes. Uma mesa deste tipo devia ter uma resolução espacial mínima da ordem dos 0.5 mm.



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

Muito frequentemente tinham, inclusivamente, uma resolução da ordem dos 0.1 mm. Quer isto dizer que o dispositivo permitia distinguir dois pontos na imagem, apenas se estes distassem entre si 0.1 mm.

Utilizando-se tecnologia vídeo, as imagens são reproduzidas num monitor de vídeo ou de computador para determinação das coordenadas. A resolução do vídeo vai desde a antiga norma VGA de 640x480 *pixels* ou 800x600 *pixels* até à mais atual *full HD* de 1920x1080 *pixels*, a qual constitui uma muito boa resolução.

3.1.6 REFERENCIAÇÃO CRONOMÉTRICA

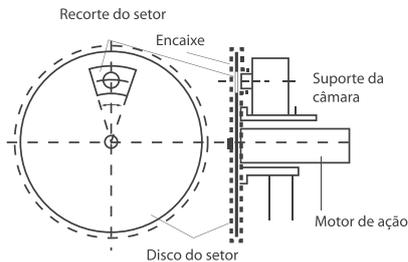
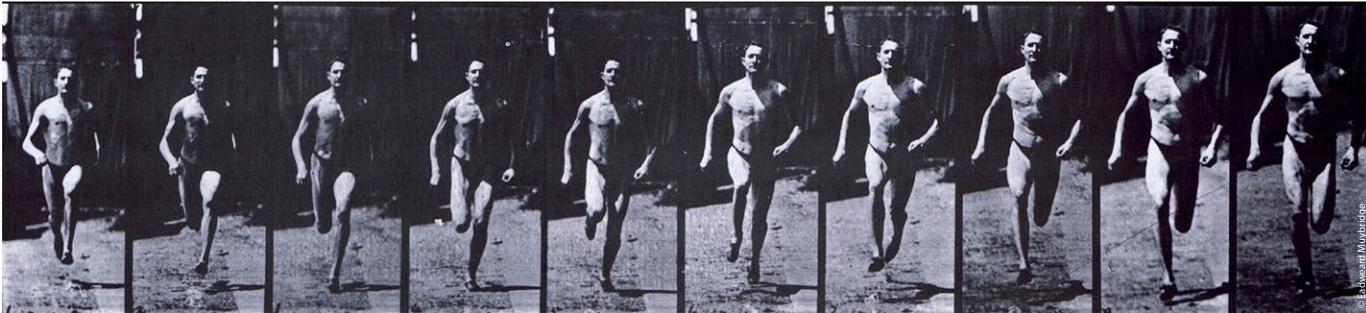
Para além da rigorosa determinação das coordenadas planares ou espaciais, necessitamos ainda de medir tão rigorosamente quanto possível o tempo que medeia entre cada dois momentos em que apurámos valores das coordenadas do ponto notável em estudo. Diríamos, portanto, que para a avaliação cinemática necessitamos de boas referenciações espaciais e temporais do comportamento do corpo ou do ponto em estudo.

A referenciação ao tempo, ou referenciação cronométrica, entretanto, é normalmente conseguida através do controlo rigoroso do tempo que medeia entre duas imagens sucessivas, sejam provenientes de que tipos de instrumentação forem. Há uns anos atrás este processo era extraordinariamente delicado, nomeadamente porque os dispositivos de registo de imagens, especialmente as câmaras de filmar, não dispunham de um bom controlo de velocidade. Nos dias de hoje, quer a tecnologia vídeo, quer a de cinema, quer mesmo a da fotografia sequenciada, dispõem já de mecanismos rigorosos de controlo da velocidade, isto é, do número de imagens captadas numa determinada unidade de tempo. Torna-se assim possível que o controlo do tempo se faça, normalmente, por **contagem do número de imagens que medeiam entre dois momentos notáveis que se considerem**. Outras soluções, porém, são também exequíveis, como é o caso da **inserção de cronómetros** digitais na imagem (com resolução superior, por exemplo até às centésimas ou milésimas de segundo), ou outras soluções denotativas do tempo (por exemplo, luzes pulsáteis a frequências conhecidas). Pensamos, todavia, que é legítimo afirmar-se que na biomecânica atual é menos problemática a referenciação temporal das imagens do que a respetiva referenciação planar ou espacial.

Em algumas situações particulares, é possível prescindir de referenciação espacial e/ou temporal e, mesmo assim, produzir resultados de grande relevância biomecânica. É o caso da avaliação qualitativa de trajetórias de pontos corporais, ou mesmo a sua expressão quantitativa em grandezas relativas, como seja, por exemplo, a amplitude vertical do movimento do calcanhar durante um ciclo da marcha, expressa em percentagem da respetiva amplitude horizontal, ou as avaliações de deslocamentos angulares.

! para a avaliação cinemática necessitamos de boas referenciações espaciais e temporais do comportamento do corpo ou do ponto em estudo.





3.1.7 CRONOFOTOGRAFIA (NOTA HISTÓRICA)

A cronofotografia ou cronociclotografia foi uma das primeiras técnicas cinemétricas de base imagiológica, no caso recorrendo à fotografia. O francês Etienne Marray foi um dos seus pioneiros, a exemplo do que aconteceu com muitas outras técnicas biomecânicas.

A técnica baseava-se no registo de diferentes posições sucessivamente assumidas pelo sujeito praticante numa mesma película e num mesmo fundo, fundamentalmente conseguido através de exposições múltiplas da mesma película de uma câmara fotográfica imóvel.

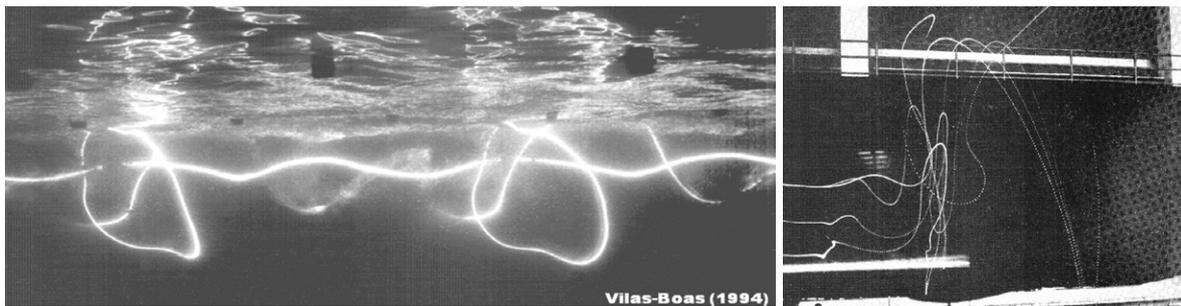
As questões técnicas do foro da fotografia, associadas ao uso desta técnica, eram muitas e muito delicadas, desde logo porque o fundo era repetidamente captado, de preferência imóvel, podendo ocorrer fenómenos de excessiva saturação luminosa na película. O problema maior, de resto como em todas as técnicas fotoquímicas, residia no facto de apenas após a revelação do filme se poder saber se a recolha de imagens tinha sido, ou não, bem sucedida.

O tempo entre duas exposições sucessivas da película tinha de ser muito bem controlado, para que se pudessem calcular dimensões cinemétricas derivadas com rigor satisfatório, nomeadamente a velocidade e a aceleração. As estratégias utilizadas para a marcação do tempo foram fundamentalmente de dois tipos, que se podem considerar de conceito inverso. Por um lado, a abertura sucessiva e sequencial da objetiva, conseguida, por exemplo, através de um disco que rodasse a uma velocidade conhecida e que, dotado de uma janela dedicada, expusesse a objetiva a intervalos de tempo conhecidos e regulares. A solução inversa recorria à abertura permanente da objetiva em ambiente fortemente escurecido, sendo a área de *performance* iluminada através de uma luz estroboscópica (**fotografia estroboscópica**): uma luz com reduzidos períodos de incandescência e com elevada (e convenientemente controlada) frequência de disparo.



3.1.8 FOTOGRAFIA DO TRAÇADO LUMINOSO (NOTA HISTÓRICA)

A fotografia do traçado luminoso foi outra técnica cinemétrica muito utilizada em biomecânica, sobretudo quando as trajetórias de pontos corporais ou de engenhos eram aspetos relevantes. Trata-se, de novo, de uma técnica fotogramétrica que recorre à exposição permanente da película, em ambiente escurecido, sendo iluminado o ponto de referência cuja trajetória se quer conhecer. Essa iluminação pode ser contínua, ou intermitente. No caso da fonte de luz ser contínua, a trajetória é normalmente muito bem definida no plano da imagem, mas não é possível referenciar a ação ao tempo, a não ser de forma muito subjetiva e qualitativa. De facto, assumindo que a intensidade de luz na fonte é contínua, nas porções da trajetória onde o traçado luminoso for mais intenso pode concluir-se que a velocidade do ponto iluminado foi menor, verificando-se o contrário onde o traçado luminoso for mais ténue.



A utilização de **luzes intermitentes** disparando a frequências conhecidas permite já quantificar o tempo e ganhar uma aproximação quantitativa a esta questão.

3.1.9 CINEMATOGRAFIA E VÍDEO

A cinematria lida fundamentalmente com imagens, as quais não são mais do que representações das posições que um ponto ou um corpo assumem sucessivamente no plano. Poderíamos dizer, inclusivamente, no espaço, se considerarmos o moderno cinema 3D. Para além da mais conveniente referenciação espacial e temporal, as imagens devem ainda revelar uma outra característica fundamental: devem apresentar uma elevada qualidade.

Em cinematria biomecânica, a cinematografia (baseada na tecnologia fotoquímica do filme) foi uma técnica de captura de imagens largamente utilizada, facto que se deve quer à excelente qualidade das imagens que proporciona, quer à acessibilidade de mesas de digitalização com elevada resolução (elevado número de posições individuais na mesa, que restituem diferentes coordenadas da imagem). Uma outra característica vantajosa do cinema consistia na também relativamente elevada acessibilidade de câmaras

com elevada velocidade de aquisição ou frequência de amostragem – número de imagens (representações do fenómeno) obtidas por unidade de tempo (até 500Hz). Pela negativa, o cinema apresentava, e apresenta ainda, necessariamente, a morosidade da disponibilização do resultado (devido à necessidade de revelação do filme); o custo da película (não reutilizável) e a imprescindibilidade de algum conhecimento específico de fotografia e cinema para a sua mais conveniente e adequada utilização.

As limitações antes enunciadas para o cinema são ultrapassadas pelo vídeo, nomeadamente mediante as mais recentes evoluções da respetiva tecnologia.

De entre as mais recentes evoluções destacamos:

- (i) as câmaras de vídeo com obturação controlada eletronicamente, que permitiram o controlo do tempo de registo de cada imagem e a ultrapassagem da grande desvantagem que se consubstanciava nos tempos de aquisição de 0,025 s. Foi desta forma possível obviar às imagens “borratadas”, decorrentes de tempos de exposição excessivos, durante os quais os corpos em estudo se deslocam;



- (ii) os consideráveis desenvolvimentos nos sistemas de reprodução em “câmara-lenta” de alta qualidade e na capacidade de obtenção de imagens paradas, também de alta qualidade;
- (iii) os desenvolvimentos operados ainda nos sistemas de leitura, permitindo a apresentação sequencial dos dois campos entrelaçados que compõem uma imagem, de tal forma que tornam viável a duplicação do número de imagens reproduzidas por unidade de tempo (até 50Hz ou 60Hz nos dispositivos comuns dos sistemas PAL ou NTSC, respetivamente);
- (iv) os progressos operados na resolução das câmaras de vídeo e das placas de captura de imagens de vídeo para ulterior processamento informático, nomeadamente para a digitalização de coordenadas de pontos notáveis.

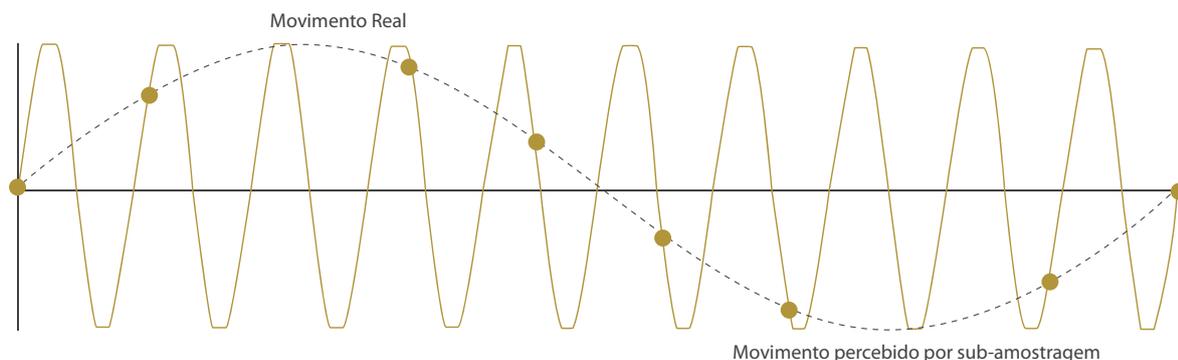
A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

Na sequência destes progressos, a tecnologia vídeo tornou-se numa alternativa atrativa ao cinema, sobretudo pelas imagens serem muito mais rapidamente disponibilizadas, a baixos custos (de base reutilizável) e de forma relativamente simples de operar. Complementarmente, o vídeo oferece possibilidades acrescidas para o processamento automático de imagens, quando comparado com o cinema.

Durante algum tempo, o vídeo apresentou ainda algumas desvantagens relativamente ao filme, nomeadamente a menor resolução das imagens (basicamente a grandeza que define de quantas unidades elementares cada imagem é constituída), que diminui o rigor da digitalização em comparação com as mesas de digitalização de alta resolução; o custo muito mais elevado dos equipamentos vídeo que permitem operar a velocidades de aquisição elevadas, similares às usadas em cinema e, por último, a menor qualidade das lentes utilizadas na maioria das câmaras de vídeo, normalmente muito inferior à das utilizadas nas câmaras de cinema, sendo mais suscetíveis às distorções óticas. Estes inconvenientes, porém, estão já completamente ultrapassados nos dias de hoje, e até Hollywood já se rendeu à tecnologia vídeo.

Quer o cinema, quer o vídeo, são dois processos de amostragem. Qualquer deles regista amostras discretas sucessivas (imagens) de eventos que se sucedem continuamente no tempo. Desta forma, o movimento é percebido pela sucessão de imagens de posições assumidas pelo corpo em estudo, captadas em curtos intervalos de tempo (tempo de exposição da película ou dos sensores CCD, determinado pela velocidade de obturação) **sem que, todavia, se retenha o que efetivamente acontece entre duas imagens sucessivas**. O número de imagens obtidas num segundo e que são captadas muito rapidamente (em períodos de tempo variáveis e normalmente controláveis), designa-se por **frequência de aquisição de imagens**, ou **frequência de amostragem** do movimento.

A frequência de amostragem é decisiva para que se possa garantir que, através dessa “amostragem”, se representa satisfatória e convenientemente o fenómeno que se está a estudar, evitando fenómenos como o *aliasing*. Na figura seguinte vemos como o fenómeno de *aliasing*, motivado por amostragem insuficiente, nos proporciona uma “visão” completamente inadequada do fenómeno que pretendemos representar e estudar.



Tanto os sistemas vídeo, quanto os sistemas de cinema, apresentam o grande inconveniente de, em cinematria, exigirem um muito apreciável volume de trabalho para a digitalização manual de coordenadas dos diferentes pontos notáveis selecionados em cada imagem. Isto é especialmente nítido quando se pretendem operacionalizar análises 3D, para as quais são necessárias imagens em pelo menos dois planos diferentes para compor o sistema tridimensional de coordenadas do corpo nesse momento. Para ultrapassar este inconveniente foram desenvolvidos sistemas opto-eletrónicos de captura automática de coordenadas de pontos relevantes destacados no corpo. Alguns destes sistemas são, inclusivamente, baseados na tecnologia vídeo.

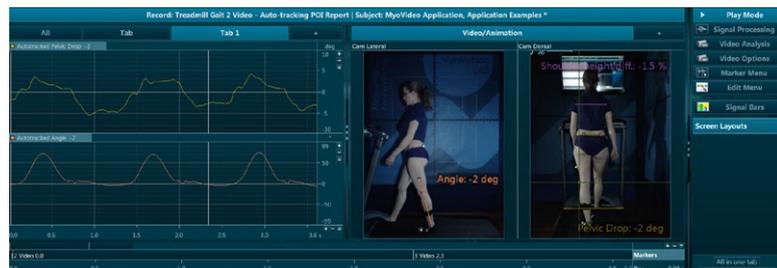
3.1.9.1 PROCESSAMENTO CINEMÉTRICO BIDIMENSIONAL OU TRIDIMENSIONAL



As imagens obtidas por uma câmara de cinema ou vídeo podem, posteriormente, ser objeto de tratamento bidimensional ou tridimensional, bem assim como as coordenadas de um ou mais pontos corporais obtidas por métodos de aquisição automática. Para o processamento tridimensional, todavia, são requeridas também outras câmaras, sincronizadas com a primeira.

O processamento bidimensional (2D) restringe a análise a efetuar aos movimentos realizados no plano que se considere. Todos os movimentos que apresentam componentes noutros planos não são completamente descritos e a sua interpretação requer alguns cuidados, para que se não incorra em importantes erros de avaliação. Em contrapartida, o processamento tridimensional (3D) permite o reconhecimento do movimento em cada um dos três planos, minimizando os erros de perspetiva, permitindo mesmo a análise do movimento em planos não captados pelas câmaras.

Apesar das vantagens associadas ao tratamento 3D, importa referir que se trata de uma análise bem mais morosa, requerendo, pelo menos, a duplicação do esforço de digitalização, para além de determinar também meios informáticos mais onerosos (nomeadamente ao nível do *software*, embora o seja cada vez menos) e estratégias mais ou menos sofisticadas de sincronização de diferentes câmaras.



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

AS VANTAGENS E INCONVENIENTES DOS PROCESSAMENTOS BI E TRIDIMENSIONAIS DE IMAGENS EM CINEMETRIA BIOMECÂNICA, SUBLINHAM, PARA O PROCESSAMENTO 2D, AS SEGUINTE CARACTERÍSTICAS:

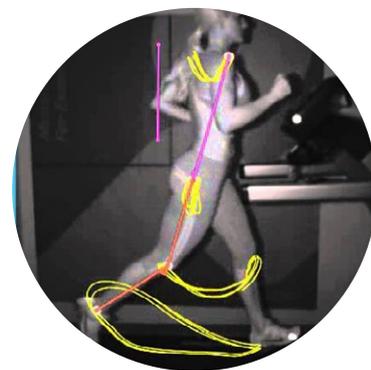
- (i) são mais simples e baratas, dado que são necessárias menos câmaras e outros meios;
- (ii) requerem que os movimentos a serem estudados decorram num plano predeterminado;
- (iii) são concetualmente mais simples;
- (iv) requerem menos horas de digitalização e apresentam menos problemas metodológicos.

NO QUE RESPEITA ÀS ANÁLISES 3D:

- (i) envolvem procedimentos mais complexos;
- (ii) permitem o estudo dos verdadeiros movimentos espaciais, sendo mais próximas do movimento real em estudo;
- (iii) requerem mais equipamento e são, por isso, mais dispendiosas;
- (iv) implicam procedimentos computacionais mais complexos, associados às reconstruções dimensionais e à sincronização por *software* de resultados de câmaras que não estejam fisicamente sincronizadas (*phase-locked* e *gen-locked*);
- (v) permitem que os ângulos intersegmentares sejam calculados corretamente, sem distorções de perspectiva;
- (vi) permitem a reconstrução de perspectivas simuladas da performance, para além daquelas que são registadas pelas câmaras, o que constitui um auxiliar muito útil para a análise e avaliação do movimento desportivo.

3.1.9.2 FONTES DE ERRO NO REGISTO DE IMAGENS DO MOVIMENTO A ESTUDAR

O registo de imagens para processamento cinemétrico em Biomecânica pode considerar-se circunscrito ao seguinte objetivo: **obter um registo que permita a rigorosa determinação da posição do centro articular de rotação de cada um dos segmentos corporais móveis, bem como do período de tempo decorrido entre imagens sucessivas.** Neste processo, todavia, podem ser identificadas várias fontes de erro, que se consubstanciam, depois, em erros de diferentes ordens (não sistemáticos, sistemáticos e combinados). Os erros não sistemáticos, comumente associados a “ruído”, apresentam, em cinematria 2D, uma expressão de sensivelmente 1%, enquanto em cinematria 3D se eleva para 2%. Estes erros decorrem maioritariamente de falhas de digitalização associados à dificuldade de estimação dos centros articulares e devem ser obviados através de uma cuidadosa montagem de toda a situação de recolha de dados. Os que persistam devem, depois, ser removidos por suavização antes de qualquer tratamento posterior das coordenadas. Os erros sistemáticos são do tipo dos que emergem da distorção produzida pelas lentes, devendo ser removidos à partida, seja por calibração, seja por correção em *software*. A filtragem é um processo válido para proceder à remoção do remanescente, antes de se iniciar qualquer processamento ulterior dos dados.





São as seguintes as fontes de erro mais comuns em cinematria:

- (i) a tridimensionalidade da posição dos centros de rotação dos segmentos corporais determina que as análises do movimento baseadas em apenas uma câmara sejam consideradas com precaução;

- (ii) em cinematria 2D, qualquer não coincidência entre o plano de performance e o plano perpendicular ao eixo ótico da câmara (plano fotográfico), constitui uma fonte de erro das medições se a calibração for realizada com um simples objeto de escala no plano de performance;

- (iii) as lentes podem constituir uma fonte de erro não desprezável, uma vez que são suscetíveis de produzir distorções da imagem, especialmente nas extremidades do campo fotográfico;

- (iv) a localização exata dos centros articulares não é possível, pelo que é apenas estimada em cinematria externa. Nesta conformidade, a utilização de marcas superficiais é recomendável, mas mantendo sempre em consideração a não absoluta e permanente solidariedade entre a expressão superficial suposta para o centro articular e o próprio centro articular. Esta dissociação é, obviamente, uma importante fonte de erro em cinematria, tratando-se da fonte de erro não sistemático mais comum no processo de obtenção de coordenadas articulares, o qual é agravado ainda pela utilização do equipamento desportivo;

- (v) o rigor da frequência de amostragem constitui também uma fonte de erro importante quando se utiliza cinematografia, apesar de não constituir um problema na tecnologia vídeo;

- (vi) a focagem e definição da imagem podem também constituir uma fonte de erro, assim como vibrações da câmara (e, antigamente, do projetor de cinema e da própria mesa de digitalização);

- (vii) em cinematria 2D é necessário ter atenção especial aos erros de perspetiva e de paralaxe. Os erros de perspetiva consistem na aparente discrepância no comprimento entre dois objetos de comprimento igual, tais como os membros direito e esquerdo, quando um se encontra mais próximo da câmara do que o outro. São também erros de perspetiva os que se prendem com a perceção de que um segmento numa posição angulada relativamente ao plano fotográfico se apresenta como de menores dimensões do que as suas dimensões reais. Os erros de paralaxe, entretanto, consistem nos erros decorrentes da assunção de uma perspetiva do objeto fora do eixo ótico, de tal forma que, por exemplo numa

A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

vista sagital de uma corrida preparatória, o corredor não se encontra sempre “de lado” ao longo de todo o plano de movimento. Inicialmente é visto parcialmente de frente e, depois de passar o eixo ótico, é visto parcialmente de trás. Como resultado, os segmentos mais próximos da câmara parecem maiores e parecem deslocar-se um espaço superior do que os segmentos mais afastados.

Em cinemetría 3D, parte destes erros desaparecem, ou são mais facilmente controlados. Todavia, subsistem ainda alguns outros que são mais específicos destes procedimentos.



Erros que subsistem em cinemetría 3D:

- (i) os erros decorrentes do relacionamento das coordenadas planares da imagem das câmaras (de cinema, ou de vídeo) com as coordenadas do espaço tridimensional em que decorre o movimento. Estão disponíveis várias soluções para o problema, mas cada uma apresenta os seus problemas específicos. A solução mais comum e, provavelmente, a menos indutora de erros, consiste na utilização de um elevado número de pontos de calibração definidos numa escala de calibração 3D. Esta solução permite minimizar os erros dentro do volume de calibração, ao mesmo tempo que não permite um controlo similar sobre os erros operados fora do volume de calibração. Os erros de digitalização em cinemetría 3D crescerão, então, proporcionalmente com a razão volume de *performance* / volume de calibração;

- (ii) todos os pontos de calibração devem ser vistos por todas as câmaras utilizadas, ou pelo menos, por duas delas, e as respetivas coordenadas 3D devem ser conhecidas com tanto rigor quanto possível.

3.1.9.3 PROCEDIMENTOS PARA O REGISTO DE IMAGENS

3.1.9.3.1 Imagens para processamento 2D

Devem ser observados os seguintes cuidados para minimizar a ocorrência de erros com base nos procedimentos de registo de imagem:

- (i) a câmara deve ser mantida imóvel, com o eixo ótico direcionado para o centro do plano de *performance*. A câmara não deve ser rodada (*panning*), acompanhando o executante, por exemplo, durante uma corrida. Esta opção implicaria esforços consideráveis de calibração e as vantagens que pode proporcionar (nomeadamente registar um ciclo completo com a câmara menos distanciada do executante) são facilmente superáveis com a montagem de, pelo menos, duas câmaras em paralelo;



-
- (ii) a câmara deve estar colocada tão longe quanto possível do executante, de forma a evitar erros de perspetiva e erros de distorção ótica. Todavia, esta opção implica, depois, uma menor capacidade de resolução relativamente a imagens captadas com maior proximidade. Assim, a utilização de lentes zoom torna-se imprescindível para permitir a captação de imagens da dimensão desejável. A solução ideal passa pela realização de pré-testes que permitam aferir qual a distância máxima passível de ser utilizada para o zoom disponível e sem comprometimento excessivo da resolução planar pretendida. Colocada a câmara, a focagem deve ser realizada sobre o executante com o zoom máximo e, depois, deve ser diminuído o zoom até à dimensão pretendida para a imagem, a qual deve ser tão grande quanto possível para minimizar os erros de digitalização. A utilização de montagem de câmaras em paralelo é, também por isto, recomendada para eventos longos, como por exemplo as corridas em atletismo, o mesmo já não tendo de acontecer com os lançamentos;
-
- (iii) o eixo ótico da câmara deve ser colocado perpendicularmente ao plano de performance, o que pode ser conseguido utilizando “níveis de bolha” e técnicas de triangulação;
-
- (iv) uma escala linear e uma referência vertical devem ser incluídas no campo visual da câmara. Para análises vídeo é recomendável a utilização de escalas de calibração linear vertical e horizontal. As escalas devem ser posicionadas no plano de performance e devem ter uma dimensão próxima, ou tão próxima quanto possível (se possível superiores), às dimensões planares da prestação. Recomenda-se que essa dimensão seja tal que o erro de escala, na digitalização, não seja superior a 5% (o erro de escala calcula-se comparando uma dimensão conhecida com a respetiva dimensão proporcionada pela utilização da escala após digitalização);
-
- (v) o ideal seria que o fundo da imagem consistisse numa quadrícula que permitisse a referência permanente do movimento e possíveis recalibrações e verificações. Em simultâneo, convém que o fundo seja em cor contrastante, liso e não refletor;
-
- (vi) se se usa (ou quando se usava) cinema deve incluir-se um cronómetro no fundo, de forma a calibrar a frequência de aquisição;
-
- (vii) a frequência de aquisição é decisiva em cinematria, nomeadamente porque porções relevantes do fenómeno podem ser negligenciadas

A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

com frequências mais baixas, como também fenómenos especiais podem ocorrer e constituírem-se como importantes indutores de erros, como o *aliasing*, ou identificação suposta, que se observa, por exemplo, quando a roda de um automóvel parece rodar para trás num filme;

(viii) a iluminação deve também ser adequada às condições de registo, nomeadamente à frequência de aquisição. Quanto maior a frequência, mais luz é necessária, o mesmo acontecendo com a velocidade aumentada nas câmaras de vídeo. Nesta conformidade, o ideal será sempre a recolha de dados à luz do dia, mas infelizmente tal nem sempre é possível.

(ix) como em todas as demais situações de avaliação, em Biomecânica e não só, a validade ecológica da prestação deve ser mantida tão intransigentemente quanto possível. Por isso, deve-se procurar interferir tão pouco quanto possível na prestação do sujeito, desde logo na respetiva instrumentação, como na sua marcação, restrições de vestuário, ou outro qualquer tipo de condicionamento. Todavia, para situações controladas, é natural que não seja possível garantir a absoluta independência do sujeito, nem tão pouco garantir condições de execução tão próximas assim das reais em contexto desportivo. Nessas circunstâncias, quanto menos expressivo for o efeito do teste sobre o executante, melhor, devendo, sempre que possível, proceder-se a uma estimativa do erro induzido.

A cinemática 2D pode ainda ser concretizada de forma menos ortodoxa e mais complexa, mas ao mesmo tempo menos condicionada. Sobretudo em ambiente desportivo, a necessidade de colocar a câmara com o eixo ótico perpendicular ao plano de *performance* nem sempre é possível. Nessa circunstância pode recorrer-se a uma solução particular, que consiste na versão 2D da Transformação Linear Direta (DLT). Com esta técnica de transformação das coordenadas da imagem em coordenadas reais podem utilizar-se câmaras e posições oblíquas e, posteriormente, obter representações de movimentos planares. É, de resto, uma extensão deste método que permite a utilização da câmara móvel, em varrimento (*panning*).



3.1.9.3.2 Imagens para processamento 3D

A maioria dos cuidados antes referidos relativos à recolha de imagens para processamento 2D aplicam-se também à recolha de imagens para processamento 3D.



Abdel-Azize e Karara, H. M. (1971).
*Direct linear transformation from
comparator coordinates into object
space coordinates in close range
photogrammetry. Proceedings of the
symposium on close range photoe-
nammetry, pp 1-18.*
Falls Church, VA; American Society of
Photogrammetry.

Para a reconstrução de um sistema de coordenadas espaciais (3D) do movimento de um ponto recorre-se comumente ao algoritmo DLT (Abdel-Azize, e Karara 1971), o qual permite essa reconstrução a partir de, pelo menos, dois sistemas de coordenadas planares resultantes das perspetivas de duas câmaras não coplanares.

São, portanto, necessárias pelo menos duas câmaras para se poder aspirar ao processamento 3D de imagens de movimentos desportivos. Em circunstâncias ideais, essas câmaras deverão estar sincronizadas em hardware, isto é, ambas devem iniciar o processo de registo de imagens do movimento em estudo no mesmo preciso momento. Para tal é necessário contar com câmaras de cinema *phase-locked*, ou câmaras de vídeo *gen-locked*. Mesmo assim, as câmaras de cinema devem dispor de um dispositivo de controlo do tempo para permitir a verificação da sua efetiva sincronização.

A sincronização de duas câmaras pode ainda ser necessária para sincronizar dois eventos distintos captados por duas câmaras também distintas. Esse processo de sincronização chama-se sincronização por evento e consiste em registar por ambas as câmaras um mesmo fenómeno suficientemente rápido para ser considerado como o momento zero do processo sincronizado. O acendimento de uma lâmpada, ou de vários LED colocados no campo de diferentes câmaras e disparados em simultâneo, constitui o processo mais habitual neste domínio, apesar de menos preciso do que a sincronização em *hardware*. Quer as câmaras *phase-locked*, quer as *gen-locked*, o acendimento de LED em frente das objetivas, ou mesmo o uso de geradores de caracteres sincronizados, pressupõe a utilização de cablagem entre câmaras, o que nem sempre é possível. Quando assim acontece recorre-se ao registo simultâneo de um relógio digital por ambas as câmaras, ou utiliza-se, em casos extremos, acontecimentos particulares registados pelas duas câmaras como eventos de sincronização.



A sincronização de duas câmaras pode ainda ser necessária para sincronizar dois eventos distintos captados por duas câmaras também distintas.



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

3.1.10 SISTEMAS ÓTICO-ELETRÓNICOS E ELETROMAGNÉTICOS DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE COORDENADAS DE PONTOS NOTÁVEIS

Os sistemas ótico-eletrónicos e eletromagnéticos de aquisição automática de coordenadas planares e espaciais de pontos notáveis de um corpo em cada instante do tempo constituem o expoente máximo, na atualidade, dos sistemas cinemáticos.

Trata-se de sistemas que registam, em cada momento, a posição no plano ou no espaço de um ponto relevante assinalado por um marcador que reflete luz, por exemplo, no espectro do infravermelho (não visível e, portanto, não perturbador da ação), ou que eletromagneticamente define a sua posição relativamente a um referencial conhecido. Estes sistemas desenvolveram-se já de tal maneira que a aquisição de coordenadas se processa em tempo real, ou quase em tempo real. Quer dizer que, enquanto o movimento se desenvolve, o sistema reproduz concomitantemente (aceita-se já um atraso de cerca de 0,02 s, inferior à capacidade de discriminação humana) o respetivo modelo informático.

O principal inconveniente destes sistemas reside na dificuldade de verificação da aderência do modelo ao movimento real, importando aceitar o erro associado a cada um. Complementarmente, até há bem pouco tempo, os sistemas de reflexão de luz infravermelha comportavam também o inconveniente de não funcionarem em ambientes de luz quente, iluminados pelo sol, onde a radiação infravermelha adicional comprometia os resultados finais. Hoje, porém, esta dificuldade parece estar ultrapassada pela maioria dos sistemas.

! Os dispositivos de aquisição automática de coordenadas proporcionam uma vantagem inigualável, que decorre do facto de suprimirem o muito elevado tempo de digitalização, ponto a ponto, que caracterizava as metodologias precedentes.



Os dispositivos de aquisição automática de coordenadas proporcionam uma vantagem inigualável, que decorre do facto de suprimirem o muito elevado tempo de digitalização, ponto a ponto, que caracterizava as metodologias precedentes. Hoje é possível, portanto, adquirir o modelo numérico descritivo do movimento real em tempo igualmente real, sem necessidade de recurso a um pós-processamento de cada imagem extremamente moroso e fastidioso, inclusivamente em ambiente subaquático.

3.1.12 OUTROS DISPOSITIVOS CINEMÉTRICOS

Como referimos antes, para além dos meios imagiológicos e dos meios ótico-eletrónicos de registo das coordenadas dos pontos anatómicos de referência, importa salientar outros métodos cinemétricos relevantes: velocímetros, acelerómetros e electrogoniómetros.

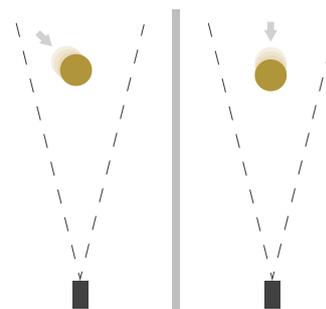
3.1.12.1 VELOCÍMETROS

Velocímetros são dispositivos que medem a velocidade de um ponto num corpo, ou de um corpo inteiro. Normalmente os velocímetros medem o deslocamento produzido num determinado intervalo de tempo, de onde se calcula diretamente a velocidade média conseguida no intervalo de tempo em questão.

Os velocímetros podem ser de diferentes tipos, sendo os mais comuns os ditos “mecânicos”. Os velocímetros mecânicos consistem em instrumentos que proporcionam a medida mecânica do deslocamento, normalmente através do desenrolamento em torno de um carreto de perímetro conhecido de um cabo rígido ligado ao sujeito, ou ao ponto que se pretende estudar. O cabo está normalmente enrolado em torno de um “carreto”, correspondendo cada revolução do mesmo ao deslocamento linear do seu perímetro. O número de revoluções (perímetros) e frações dessas revoluções por unidade de tempo corresponderá à velocidade linear do ponto monitorizado.

Para além dos velocímetros mecânicos, destacam-se também os velocímetros Doppler, melhor conhecidos por radares. Estes velocímetros têm uma vantagem inequívoca relativamente aos primeiros, pelo facto de não apresentarem qualquer ligação física ao corpo cuja cinemática pretendem monitorizar. Funcionam através da reflexão de ondas eletromagnéticas pelo corpo a monitorizar. Conhecendo-se a frequência das ondas emitidas e medindo a frequência das ondas recebidas depois de refletidas pelo objeto, calcula-se a velocidade de deslocamento do objeto em relação ao radar. Os radares são muito utilizados, para além da polícia de trânsito, para medir a velocidade de bolas, por exemplo, no serviço de ténis.

Os radares apresentam o inconveniente de monitorizarem a velocidade de todos os corpos que se deslocam no seu espaço operacional, normalmente definido por um ângulo até 20° centrado sobre o eixo do radar. Neste contexto, quanto mais a trajetória do objeto a avaliar se afastar do eixo longitudinal do radar, maior o erro associado à medição. Na figura ao lado pode observar-se, à direita, a situação ideal que minimiza o erro de medição da velocidade da bola e, à esquerda, uma situação onde o erro de avaliação não será dispiciendo, já que a trajetória da bola se afasta significativamente do eixo longitudinal do radar.





3.1.12.2 ACCELERÓMETROS

Os acelerómetros são dispositivos cinemáticos que funcionam por cinemática inversa. Isto é, medem a força, ou o momento de força, aplicada sobre um sensor dinamométrico na decorrência da aceleração a que foi sujeita uma massa conhecida. O cálculo dessa aceleração realiza-se com base na relação fundamental da dinâmica ($F = m \cdot a$) conhecendo-se a massa acelerada e a força de reação a essa aceleração.

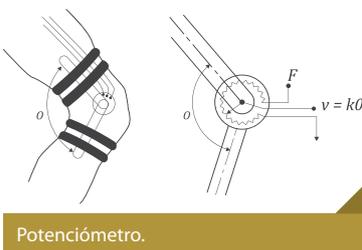
Os acelerómetros são dispositivos utilizados para muitos contextos de avaliação da aceleração. Porém, em exercício físico e desporto, os acelerómetros são maioritariamente utilizados na avaliação da atividade física diária de diferentes sujeitos e diferentes grupos de sujeitos. De facto, um acelerómetro colocado próximo do pé será capaz de monitorizar a aceleração a que o mesmo se sujeita em cada apoio no solo durante a marcha e a corrida, sendo ainda capaz de discriminar entre acelerações mais ou menos intensas, correspondentes a impactos sobre o solo também mais ou menos intensos e, por isso, correspondentes a formas de locomoção mais ou menos rápidas e intensas também elas, facilitando soluções de quantificação da atividade física diária do sujeito.

Conhecendo-se a aceleração a que um ponto ou a que um corpo está sujeito num determinado contexto é possível, por integração no tempo, calcular a velocidade média a que esse corpo se deslocou nesse intervalo de tempo. Depois, igualmente por integração, segunda integração neste caso, será possível determinar qual a distância que o ponto, segmento, corpo ou sujeito em questão se deslocou no intervalo de tempo considerado. Isto é, pela força ou momento de força a que se sujeita uma massa calcula-se a respetiva aceleração e, depois, por integração (de certa forma o inverso matemático da derivação) a velocidade e o deslocamento; faz-se, como se diz habitualmente, uma **cinemática inversa**.

3.1.12.3 ELECTROGONIÓMETROS

Os electrogoniómetros são dispositivos especialmente produzidos para medir a angulação entre dois segmentos. Antigamente eram dispositivos que dispunham de duas hastes justaponíveis ao eixo longitudinal dos segmentos adjacentes cuja cinemática angular se pretende monitorizar, as quais, quando mais ou menos anguladas entre si, ativam um potenciómetro (um reóstato), que aumenta ou diminui a resistência à propagação da corrente elétrica consoante essa angulação é maior ou menor.

A mais recente geração de electrogoniómetros funciona mais ou menos da mesma forma do que os anteriormente descritos, mas suprime a necessidade de acertar o centro do potenciómetro com o centro articular da articulação cujo movimento se pretende avaliar. Nestes novos casos, os dispositivos consistem num conjunto de duas "tabletes" cuja angulação relativa é monitorizada, havendo apenas que cuidar da conveniente orientação de cada uma dessas "tabletes" com o comprimento dos segmentos cuja cinemática angular relativa será medida.



Potenciómetro.



3.2 Dinamometria

Vimos antes que a dinâmica constitui o capítulo da mecânica consagrado ao estudo das forças não compensadas ou equilibradas que atuam sobre um corpo dado. Referimos também que alguns autores consideram a cinemática parte da dinâmica, a par da cinética, esta sim, neste caso, estritamente centrada no estudo das forças.

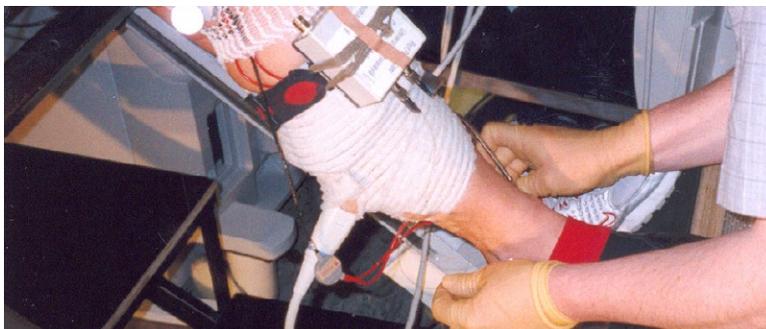


Seja qual for a classificação didática que se considere, a dinamometria consiste no domínio da avaliação biomecânica que se ocupa da avaliação das forças em presença num determinado sistema biomecânico, ou das grandezas associadas: momentos de força no caso da mecânica angular e pressões.

3.2.1 DINAMOMETRIA INTERNA E EXTERNA

A abordagem dinamométrica em biomecânica desportiva, como na generalidade dos restantes campos de aplicação biomecânica, subdivide-se em dinamometria interna e externa.

A dinamometria interna refere-se ao estudo das forças que se desenvolvem ou que atuam no interior do sistema biomecânico, dentro das suas paredes, o mesmo é dizer dentro do organismo biológico em análise. Quer isto dizer que a dinamometria interna ou dispõe de meios indiretos de intervenção, ou tem de assumir uma estratégia intrusiva (invasiva) do sistema biológico; isto é, tem de assumir “entrar” no organismo de alguma forma, através de uma “janela” qualquer, para realizar medições. Estas “entradas”, ou “janelas” são, naturalmente cruentas e habitualmente pressupõem uma qualquer “agressão” ao sujeito, por mínima que seja. São, por isso, de evitar sempre que possível.



Na figura anterior vemos um sujeito a ser intervencionado no sentido de introduzir uma fibra ótica através do seu Tendão de Aquiles para avaliar a tensão exercida sobre este. Como se sabe a fibra ótica transmite luz com uma coerência e consistências muito elevadas, transmissão essa que é atenuada

quando a fibra é dobrada ou sujeita a uma compressão. Após calibração é possível perceber qual a relação que existe entre atenuação da propagação da luz e a tensão que está a ser aplicada sobre a fibra. Considerando a superfície de contacto da fibra com o elemento produtor de tensão, é então possível calcular a força a que a fibra está sujeita. Se, no exemplo da figura anterior, se assumir uma distribuição uniforme da tensão dos gémeos sobre o tendão de aquiles; se se souber a secção reta do tendão à altura do implante de fibra e se se souber a área de contacto da fibra com o tendão, é possível estimar a força a que o tendão está sujeito por ação dos gémeos, por exemplo quando o sujeito da experiência “salta”, ou se impulsiona, ou produz uma contração muscular isométrica (sem deslocamento) numa prensa horizontal.



Imagina o leitor que nem sempre este tipo de procedimentos é legítimo, ou sequer aceite com facilidade, mesmo que os investigadores sejam atrevidos o suficiente para os propor. Sobretudo em desportistas, este tipo de procedimento, ou similares, dificilmente poderá ser perspetivado, uma vez que induz uma espécie de “lesão” (ou uma lesão de facto), minimamente incapacitante e dolorosa.

A solução, então, passa por uma de duas opções:

- (i) conceber e desenvolver meios matemáticos de modelação e simulação que permitam estimar as forças internas, ou;
- (ii) utilizar meios que, externamente, meçam variáveis relevantes que sejam tidas como indicadores das forças internas relevantes.



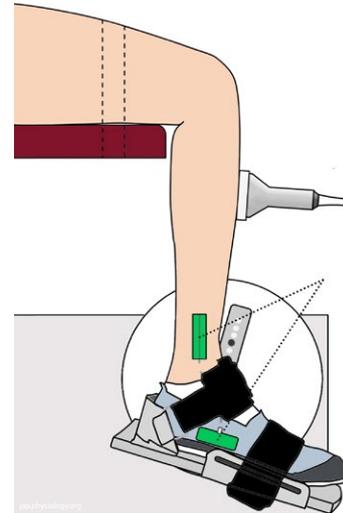
A primeira das soluções anteriores tem prendido a atenção de muitos investigadores, que vêm utilizando ferramentas computacionais e matemáticas mais ou menos sofisticadas (muitas vezes muito sofisticadas!) para o cálculo de forças internas a partir de medições externas não invasivas. Na maioria desses casos os autores fazem uso de um recurso teórico que designam por **dinâmica inversa**.

A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

Imagine-se que nos interessamos por conhecer exatamente o momento de força produzido em torno da articulação do tornozelo por ação dos gémeos durante o seu encurtamento (contração concêntrica), a tal força que é transmitida ao sistema biomecânico ósseo pelo tendão de aquiles. A força aplicada pelos gémeos multiplicada pela distância perpendicular à sua linha de ação que a separa do centro articular do tornozelo (M_G : momento de força dos gémeos), adicionado vectorialmente ao momento do peso corporal (M_P : peso multiplicado pela distância perpendicular da sua linha de ação ao centro articular do tornozelo) e ao momento da força de reação do solo (M_F : imagina-se aplicada à ponta do pé - antepé), será igual ao momento de inércia do corpo I multiplicado pela aceleração angular do mesmo:

$$M_G + M_P + M_F = I \cdot \alpha$$

Sendo a aceleração angular medida cinemetricamente (por vídeo, ou por um giroscópio), conhecendo-se I , M_P , M_F (medido diretamente por plataforma de forças, como veremos), calcula-se a incógnita M_G através da expressão anterior.



PROPOSTA
DE TRABALHO

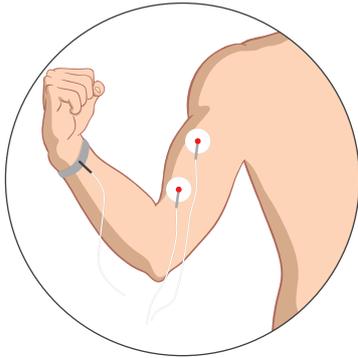
DESAFIO

Não é nossa preocupação neste curso que os formandos aprendam dinâmica inversa em profundidade, mas apenas que consigam entender do que se trata. De facto, **consiste em calcular uma força, ou um momento de força, conhecendo o seu efeito e as características do corpo sobre o qual atua, usando a relação fundamental da dinâmica.**

O NOSSO DESAFIO É QUE PROCURE NA *INTERNET* OUTROS EXEMPLOS DE DINÂMICA INVERSA APLICADOS AO DESPORTO.

A segunda das soluções que referimos anteriormente, desta feita não invasiva, passa pelo registo da atividade elétrica dos músculos ativos, convencionalmente designada por Eletromiografia e, normalmente, abreviada por EMG.

Como veremos, os músculos ao contraírem-se para produzir força, transformando energia química em energia mecânica, produzem uma corrente elétrica de muito reduzida intensidade que pode ser captada à superfície da pele e que é tanto mais intensa quanto mais intensa for a contração muscular (e, por isso, quanto mais esperadamente intensa for a força muscular produzida) se se considerar constante um conjunto vasto de variáveis, entre as quais a resistência corporal à propagação da corrente entre o músculo que a produz e



o sensor que, à superfície corporal, a capta. A EMG, porém, não constitui uma técnica que permita avaliar consistente e satisfatoriamente a força produzida por um músculo, apesar de nos poder dar indicações preciosas nesse sentido, sobretudo se coadjuvada por outras técnicas biomecânicas. Permite-nos, todavia, saber se um músculo está ativo, se está muito ou pouco ativo, mais ou menos ativo do que antes ou do que outro, e isto sem “invadir” a integridade física do sujeito, “espreitando” para o interior daquele precioso sistema biomecânico.

Mais adiante, no capítulo a ela dedicado, deter-nos-emos mais demoradamente acerca da EMG.

3.2.2 MEIOS DINAMOMÉTRICOS EXTERNOS

Naturalmente que a dinamometria externa é bem menos complexa do que a interna, especialmente pela razão óbvia de não implicar intrusão física no sujeito que se pretende avaliar. Para a implementar, recorre-se a instrumentos medidores de forças, momentos e pressões, normalmente designados por **dinamómetros**.

Estão disponíveis vários instrumentos, ou tipos de instrumentos dinamométricos de aplicação externa, que nos permitem medir as forças externas aplicadas pelos sistemas biomecânicos, ou a que se sujeitam os sistemas biomecânicos. De entre estes podemos distinguir os dinamómetros dedicados e a instrumentação mais genérica.

3.2.2.1 DINAMÓMETROS DEDICADOS

Por dinamómetros dedicados entendemos os instrumentos de medida da força aplicada num contexto muito específico. No limite poderíamos inclusivamente considerar que uma simples “máquina de musculação” constituiria um dinamómetro dedicado a medir a capacidade de produção de força no movimento, ou nos movimentos que permite; e assim seria, de facto, se a referida máquina permitisse uma leitura rigorosa da força produzida e, melhor ainda, se permitisse ler a variação da força produzida no decurso do movimento executado. No mercado estão disponíveis numerosos dinamómetros dedicados. Todavia, dentro desta categoria de dispositivos permitimo-nos a destacar os **dinamómetros isocinéticos**. De várias marcas, mas com configurações similares, trata-se de dispositivos que permitem explorar diferentes movimentos corporais humanos razoavelmente isolados, de onde se pode extrair prova de função muscular específica. São designados “isocinéticos” porque constituem dispositivos de resistência acomodada à potência; isto é dispositivos que permitem a execução de movimentos a uma dada velocidade, independentemente da força exercida. O aparelho acomoda a resistência que desenvolve à força aplicada pelo sujeito e mantém assim a velocidade de desenvolvimento do movimento constante. Naturalmente que o movimento não é totalmente



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

isocinético, na medida em que o aparelho tem de ser colocado em movimento e, finalmente tem de ser parado de novo no final do movimento. Porém, os fabricantes reclamam que uma boa parte do curso do movimento é realizado a velocidade constante.

Os movimentos permitidos por estes dinamómetros são movimentos articulares angulares, sendo a força aplicada sobre uma alavanca de braço conhecido. Nessa medida, é fácil avaliar o momento de força aplicado e, considerando a velocidade angular para que a máquina está programada, é possível calcular a potência do movimento realizado. Normalmente as avaliações realizam-se a velocidades reduzidas para monitorizar capacidades associadas à máxima produção de força e a velocidades elevadas, para monitorizar capacidades associadas à realização de exercícios de potência.



Um dos exemplos mais popularizados de utilização deste tipo de equipamentos em desporto é na avaliação do equilíbrio entre músculos agonistas (que promovem o movimento) e antagonistas (que se opõem ao movimento) da extensão do joelho nos futebolistas, fator que alguns autores reputam como decisivo para a profilaxia de lesões nestes atletas. É exatamente por se tratar de um dispositivo de velocidade programada que este tipo de dinamómetro permite a avaliação dos antagonistas em contração excêntrica (enquanto estão a ser contrariados, isto é, enquanto a articulação sobre que atuam está a realizar o movimento oposto ao induzido pela sua ação). Enquanto o dinamómetro estende o joelho a uma dada velocidade angular, por exemplo, é pedido ao avaliado que contrarie o movimento da máquina através da contração voluntária máxima dos músculos isquiotibiais (posteriores da coxa), que se contrairão enquanto estão a ser alongados (contração excêntrica).

Os dinamómetros isocinéticos apresentam como grande vantagem a capacidade de controlo da execução motora, nomeadamente partindo do controlo da velocidade da execução. Porém, essa constitui também a sua principal limitação, na medida em que, em ambiente natural, nomeadamente em desporto, praticamente não existem movimentos de resistência acomodada, ou movi-

! Os dinamómetros isocinéticos apresentam como grande vantagem a capacidade de controlo da execução motora, nomeadamente partindo do controlo da velocidade da execução.



PROPOSTA
DE TRABALHO

DESAFIO

Procure na *Internet* referência a dispositivos dinamométricos simples dedicados para a avaliação da força produzida em movimentos simples.

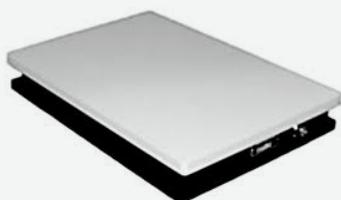
mentos isocinéticos. Diríamos que os que mais tenderão a aproximar-se desses são os movimentos realizados em ambiente fluido, especialmente na água onde as resistências produzidas pelo fluido são mais importantes. Neste contexto, uma vez que as resistências decorrentes do envolvimento crescem com a velocidade do movimento (crescem mesmo numa razão próxima da razão quadrática da velocidade), pode assumir-se que existe uma espécie de acomodação da resistência à potência aplicada, mas mesmo neste caso estamos longe de poder considerar que a generalidade dos movimentos é realizada a velocidade constante.

Para além destes dinamómetros dedicados, bem sofisticados, podemos ainda encontrar outros bem mais simples.

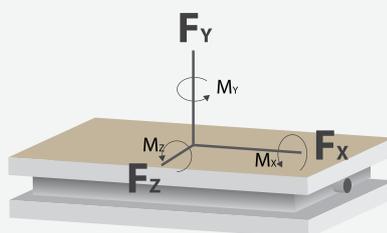
Apesar dos dinamómetros dedicados apresentarem a vantagem inequívoca de estarem claramente direccionados para uma função específica – esperando-se, por isso, que sejam particularmente eficazes nesse contexto –, têm todavia a óbvia desvantagem de dificilmente poderem ser utilizados em múltiplas situações.

3.2.2.2 PLATAFORMA DE FORÇAS

De entre os dispositivos dinamométricos dedicados, mas de uso bem mais generalizável destaca-se a **plataforma de forças**. A plataforma de forças é um dinamómetro altamente sofisticado e preciso que regista as forças de reacção aos apoios que se realizam sobre ela. Na verdade, quando, durante a marcha, a corrida, o salto, uma posição de equilíbrio, ou uma “pirueta”, o executante se apoia sobre a plataforma, esta regista as três componentes da força de reacção ao apoio e os três momentos angulares em x, y e z, durante todo o tempo de contacto. Permite, assim, saber a intensidade, orientação e ponto de aplicação da força resultante produzida durante o apoio.



A



B



C

Na figura anterior podemos ver uma fotografia de uma plataforma de forças (A), que nos permite perceber o seu aspeto. Em B representam-se as informações proporcionadas pelo dispositivo, nomeadamente as três componentes da força de reacção ao apoio sobre a plataforma (F_x , F_y e F_z) e os três momentos de força produzidos também em torno dos três eixos (M_x , M_y e M_z).



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

Em C mostra-se um registo da força resultante F_x, y, z durante um apoio de corrida. Nota-se, durante o apoio inicial, talvez do calcanhar, um impacto importante com uma ligeira orientação para trás (frenadora), depois uma verticalização da força resultante durante a passagem do peso sobre o ponto de aplicação da força e, finalmente, uma fase de grande aplicação de força, orientada para a frente e para cima, que acelerará a massa do corredor nessa direção.

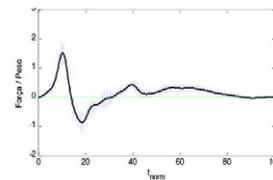
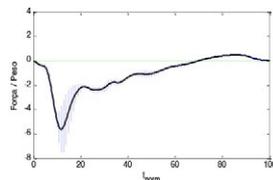
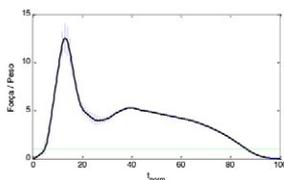
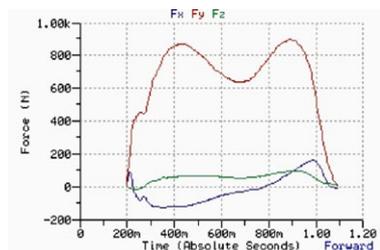


PROPOSTA
DE TRABALHO

DESAFIO

Procure na Internet outros perfis de forças de reação do apoio a outros movimentos, medidas por plataforma de forças, e procure explicar a sua dinâmica.

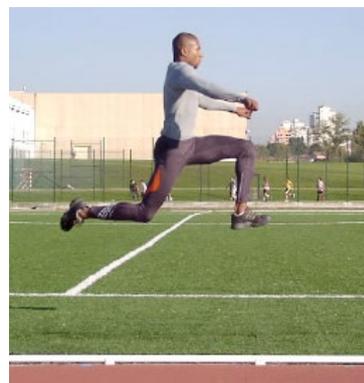
Procure, em concreto, tentar perceber a que tipos de movimentos correspondem os seguintes registos:



No primeiro caso deverá encontrar a resposta com facilidade. Explique então cada uma das curvas da figura. No caso de baixo talvez lhe seja mais difícil encontrar a resposta; mas não desista! Não desistir nunca é uma característica essencial do treinador de sucesso!

Os registos obtidos através de plataformas de força são essenciais para entendermos os movimentos desportivos, a sua origem e a sua exuberância. Só através deles poderemos, por exemplo entender a forma surpreendentemente ágil como alguns atletas realizam certos desempenhos. Na figura ao lado fazemos uma homenagem a um desses atletas, ao mesmo tempo que damos uma pista para a resolução do desafio anterior.

Há alguns parágrafos atrás – esperamos que o leitor estivesse suficientemente atento! – escrevemos: “Nota-se, durante o apoio inicial, talvez do calcanhar, um impacto importante com uma ligeira orientação para trás (frenadora)...”. Será que esta afirmação suscitou alguma curiosidade no leitor? Porque terá sido que não afirmámos categoricamente tratar-se do apoio do



calcanhar (mais propriamente do retro-pé)? De facto, com base apenas nos registos da plataforma de forças não o conseguiríamos, porque os mesmos não discriminam facilmente qual a região do contacto onde a força está a ser aplicada. Para tal é necessário sincronizar os registos da plataforma com, por exemplo, os de imagem vídeo. O ideal seria utilizar imagem de alta velocidade; já que a plataforma adquire normalmente 1000 sinais por segundo (1000 Hz de frequência de amostragem), seria interessante que a imagem fosse também de 1000 Hz para a cada leitura corresponder uma imagem e, assim, se viabilizar uma identificação perfeita entre o que está a acontecer e as suas repercussões dinamométricas.

3.2.2.3 SISTEMAS PODOBAROMÉTRIOS

Um outro dispositivo dinamométrico, porém, se utilizado simultaneamente com a plataforma permite reforçar de forma particularmente importante o seu potencial informativo: os sistemas medidores da **pressão plantar**, ou sistemas **podobarométricos**. Estes sistemas encontram-se disponíveis em diversas configurações: plataformas, palmilhas ou soluções customizáveis, isto é, formatáveis em função das necessidades particulares de avaliação. As primeiras são talvez mais práticas e menos intrusivas no normal desenrolar do movimento, mas as segunda e terceira soluções parecem ser bem mais informativas.



A



B



C



Na figura anterior pode observar-se uma plataforma podobarométrica (A), um sistema de palmilhas transdutoras de pressão plantar (B) e um sistema ambulatório de registo de parâmetros cinemáticos gerais da marcha e da pressão em pontos customizáveis da superfície plantar do pé (C), neste caso um produto Português (*WalkinSense*), com origem na Universidade do Porto.

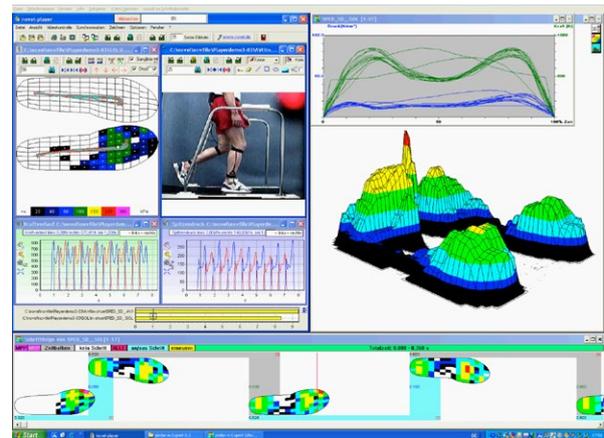
Os registos que estes sistemas proporcionam são do tipo ilustrado pela figura seguinte. No exemplo observa-se o *output* de um sistema capacitivo de palmilhas com quase 100 sensores de pressão dispostos ao longo da superfície plantar de cada pé (note-se que há no mercado sistemas com mais sensores ainda, mas com outros inconvenientes como contrapartida, bem como



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

com outras vantagens). O sistema permite-nos perceber quais as zonas de contacto mais solicitadas em cada momento e em média de diversos ciclos de apoio da marcha (no caso do exemplo); qual o trajeto de migração de trás para diante, ao longo da superfície plantar, do centro de pressões, as diferenças à direita e à esquerda, bem assim como a estimativa da componente vertical da força de reação do solo ao apoio (integral da pressão sobre a superfície de contacto).

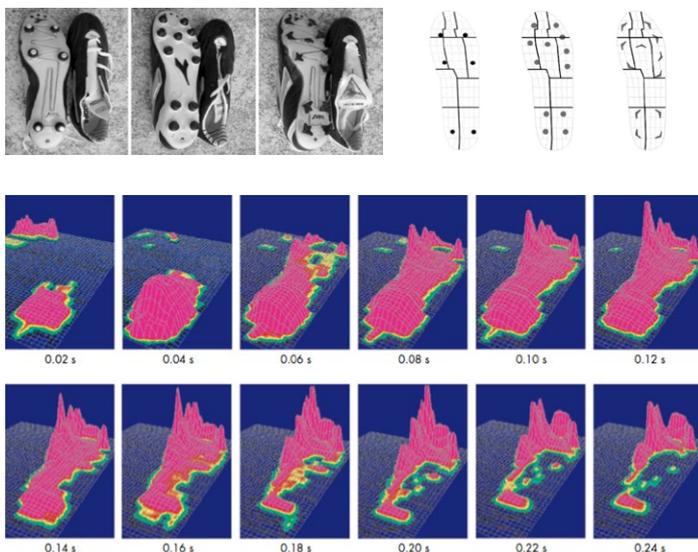
Como o leitor facilmente imaginará, estes sistemas têm múltiplas aplicações muito úteis para o estudo do movimento desportivo e, sobretudo, para o estudo dos dispositivos de interface no desporto, como calçado e pisos onde se desenvolve a atividade. Sublinhe-se, a este propósito, que uma das aplicações mais interessantes a que temos assistido consiste no desenvolvimento da adequação muito particular do calçado desportivo a cada desportista, a cada piso e, até, a cada contexto de realização desportiva (estado de forma, lesão, etc.).



PROPOSTA
DE TRABALHO

DESAFIO

Procure perceber a que tipo de estudo corresponderá a figura apresentada a seguir. Tente encontrar outros exemplos similares de utilização de sensores podobarométricos no desporto.



Wong et al. (2007). Br. J Sports Med, 41(2): 93-100





3.2.2.4 EXTENSOMETRIA

Finalmente, importa referir que a medição de forças em contexto desportivo, ou em qualquer outro contexto (bio) mecânico, pode ser conseguida de forma absolutamente “personalizada” através de extensometria. **Extensómetros** são dispositivos sensíveis à deformação, que a traduzem através de alterações na sua condutividade elétrica. Podem ser fixados em diferentes estruturas e, assim, medir as deformações a que elas ficam sujeitas em resposta a uma dada tensão (carga). Após calibração, passam, portanto, a medir a força a que as estruturas estão sujeitas. Na figura seguinte pode ver-se um extensómetro aplicado a uma pagaia de canoagem para medir os esforços a que esta fica sujeita em diferentes contextos. Os extensómetros foram até já implantados para medir deformações em estruturas anatómicas in vivo, como tendões. Mais frequentemente são utilizados para medir a resistência de estruturas, como ossos, por exemplo, mas recorrendo a peças cadavéricas, ou peças simuladas.

3.3 Morfometria ou Antropometria biomecânica

A Morfometria ou, no caso da Biomecânica humana, a Antropometria biomecânica, constitui o ramo da Antropologia física dedicado à medição e modelação das características morfológicas dos sujeitos biomecânicos. No caso particular da Antropometria biomecânica, as variáveis de interesse maior são as que se prendem com as características inerciais do corpo todo e de cada um dos segmentos do corpo humano. Nesta medida, o que se pretende, sobretudo, é conhecer rigorosamente a massa de cada segmento e do corpo todo, bem como o momento de inércia relativamente aos eixos de rotação principais, bem como o raio de giração, que tem um papel nos movimentos de rotação análogo ao do centro de massa para movimentos de translação.

Nos dias de hoje pretende-se conseguir estas medidas para cada sujeito, especificamente ou, pelo menos, para cada categoria de sujeitos entre as quais estas características presumivelmente variam: homens e mulheres, crianças, jovens, adultos e idosos, atletas e sedentários, normoponderais e obesos, negroides, caucasóides e outras alegadas raças, etc. Ao longo dos anos, os esforços realizados neste domínio foram no sentido da obtenção de valores normativos, característicos da população geral e de cada grupo em particular. Os primeiros esforços foram, naturalmente, realizados tendo por base peças cadavéricas. Os trabalhos consistiam, basicamente, em pesar o corpo todo e, depois, seccioná-lo nos seus diferentes segmentos e caracterizar cada um. Caracterizá-los em função da sua massa e da posição do seu CM, caracterizando a sua inércia aos deslocamentos lineares e angular em torno de eixos externos. A determinação do raio de giração de cada segmento em torno de cada eixo interno do mesmo (x, y, z) era também tentada em alguns modelos. Talvez estes trabalhos tenham começado com Da Vinci, ou mesmo antes, mas ganharam particular relevância os



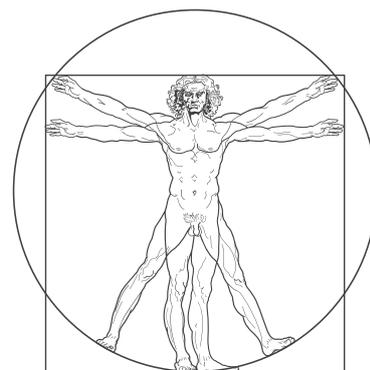
A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

modelos desenvolvidos na década de sessenta do século vinte, especialmente o modelo de Dempster. Estes, todavia, basearam-se num número muito reduzido de sujeitos e eram dificilmente generalizáveis (cadáveres americanos, disponíveis, presumivelmente velhos, indigentes e com distúrbios alimentares, dificilmente poderiam servir de referência inercial adequada para, por exemplo, atletas).

Com o tempo a modelação antropométrica biomecânica foi evoluindo, sempre recorrendo a soluções *post mortem*. Todavia, a espaços, os modelos disponíveis foram sendo revisitados, verificados, validados ou contestados, através de pesagens e medições *in vivo*.

Nos dias de hoje a Antropometria biomecânica faz-se maioritariamente através das novas técnicas imagiológicas de aplicação médica, especialmente através da tomografia axial computadorizada e da ressonância magnética nuclear, ou inclusivamente a novíssima tomografia por emissão de positrões. Através destas técnicas conseguem-se representações do corpo humano em cortes sucessivos com um espaçamento muito diminuto (da ordem dos milímetros), sendo possível depois, através de técnicas de processamento de imagem e de reconstrução tridimensional, criar modelos da partição espacial, no corpo de um sujeito vivo, em particular, dos tecidos muscular, ósseo, adiposo, e outros, viabilizando a estimativa muito rigorosa e consistente da massa e do CM de cada segmento corporal e, por isso, da sua inércia característica.

No quadro seguinte apresentamos o modelo antropométrico biomecânico de Zatsiorskye e Seluyanov (1983), adaptado por De Leva no final do século vinte (1996), talvez um dos modelos mais utilizados na biomecânica desportiva contemporânea.



De Leva, P. (1996).
Adjustments to Zatsiorskye - Seluyanov's segment inertia parameters. J. Biomechanics, 29 (9): 1223-1230.

Modelo antropométrico biomecânico de Zatsiorskye - Seluyanov (1983) ajustado por De Leva, P. (1996).

SEGMENTO	MASSA (% PC)		LOCALIZAÇÃO CM (% compr.)		<i>r</i> SAGITAL (%)		<i>r</i> TRANSVERSO (%)		<i>r</i> FRONTAL (%)	
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
CABEÇA	6.68	6.94	58.94	59.76	33.0	36.2	35.9	37.6	31.8	31.2
TRONCO	42.57	43.46	41.51	44.86	35.7	37.2	33.9	34.7	17.1	19.1
TRONCO SUP.	15.45	15.96	20.77	29.99	74.6	71.6	50.2	45.4	71.8	65.9
TRONCO MÉD.	14.65	16.33	45.12	45.02	43.3	48.2	35.4	38.3	41.5	46.8
TRONCO INF.	12.47	11.17	49.20	61.15	43.3	61.5	40.2	55.1	44.4	58.7
BRAÇO	2.55	2.71	57.54	57.72	27.8	28.5	26.0	26.9	14.8	15.8
ANTEBRAÇO	1.38	1.62	45.59	45.74	26.1	27.6	25.7	26.5	9.4	12.1
MÃO	0.56	0.61	74.74	79.00	53.1	62.8	45.4	51.3	33.5	40.1
COXA	14.78	14.16	36.12	40.95	36.9	32.9	36.4	32.9	16.2	14.9
PERNA	4.81	4.33	44.16	44.59	27.1	25.5	26.7	24.9	9.3	10.3
PÉ	1.29	1.37	40.14	44.15	29.9	25.7	27.9	24.5	13.9	12.4



No modelo anterior podemos perceber a importância que foi conferida à diferenciação entre homens e mulheres, bem como, por exemplo, à partição do tronco em três porções articuladas (superior, média e inferior). De referir que a posição do CM segmentar é referida em percentual do seu comprimento, partindo da articulação proximal (por exemplo, no caso do antebraço, o cotovelo).

Apesar dos desenvolvimentos já conseguidos, a Antropometria biomecânica tem ainda um longo caminho a percorrer até estarem disponíveis modelos suficientes em número e qualidade para permitirem a simulação das propriedades inerciais de diferentes populações relevantes, especialmente em contexto desportivo.

3.4 Eletromiografia

A eletromiografia (EMG) não é uma técnica eminentemente biomecânica, mas antes uma técnica bioelétrica, biofísica portanto, que proporciona informações biomecanicamente muito relevantes, como se se tratasse de uma janela aberta para o interior do sistema biomecânico.

A contração muscular é desencadeada por uma corrente elétrica, designada por potencial de ação ou influxo nervoso, que é transmitida pelas células nervosas motoras (neurónios) que despoletam a ação por ordem do sistema nervoso, a qual é transmitida à célula (fibra) muscular através da ligação neuro-motora, ou placa motora.

Quando a fibra muscular se contrai (o influxo nervoso é igual ou superior ao limiar de excitabilidade da unidade motora que inclui a fibra muscular em consideração), a corrente elétrica transmite-se a toda a fibra, bem assim como a todas as demais da mesma unidade motora. Quer isto dizer que quando um músculo se contrai, produz uma corrente elétrica que é proporcional ao número de unidades motoras (e de fibras musculares) recrutadas em função da intensidade do estímulo nervoso que desencadeia a contração e, portanto, esperadamente proporcional à intensidade da contração produzida. Maior seja a corrente elétrica produzida pelo músculo, maior será a intensidade com que este se contrai e, daí, maior será, também, a força produzida pelo mesmo (dentro de certos limites).



PROPOSTA
DE TRABALHO

DESAFIO

Procure informação relevante que o leve a ponderar a afirmação anterior. Isto é, procure informação que o leve a perceber porque é que correntes elétricas da mesma intensidade produzidas por um dado músculo podem corresponder a valores de força produzida diferenciados.





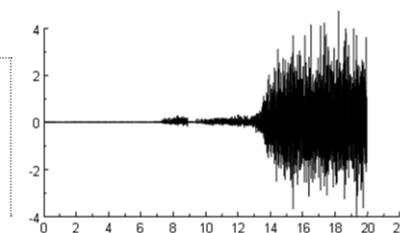
A corrente elétrica produzida por um músculo enquanto se contrai perturba o meio envolvente e é suscetível de ser percebida à superfície da pele, sobretudo se o músculo for suficientemente superficial. Quanto mais tecido(s) mediar entre o músculo em atividade e a superfície de deteção da atividade elétrica, maior serão as resistências oferecidas (impedância) e mais atenuado será o sinal.

Por uma questão de comodidade e facilidade de deteção, a medição é feita através do chamado potencial elétrico (medido em Volts).

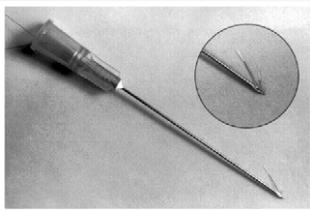
A atividade elétrica poderá, igualmente, ser percebida em profundidade, nomeadamente através de recetores elétricos (elétrodos) implantados (arames ou agulhas), mas neste caso a técnica torna-se invasiva e cruenta, portanto comprometedor da integridade física do sujeito e, por isso, só recomendável em situações terapêuticas, ou em situações limite devidamente autorizadas. Importa sublinhar, porém, que alguns músculos, nomeadamente os anatomicamente mais profundos, só parecem poder ser convenientemente electro-miografáveis através de elétrodos de profundidade.

Durante uma contração muscular, o potencial elétrico gerado e percebido à superfície cutânea é da ordem dos milivoltes, por isso de muito baixa intensidade e muito suscetível a atenuações circunstanciais e mutáveis de dia para dia, de sessão de avaliação para sessão de avaliação, de músculo para músculo e de sujeito para sujeito. Nesta medida, as condições de standardização e de normalização (relativização) dos registos são críticas para que os registos possam ser comparados.

O **registo da atividade elétrica muscular** consiste num traçado que oscila entre valores positivos e negativos em torno da posição neutra (zero), muito complexo e pouco amigável, que normalmente se designa por **traçado de interferências**. Este é mais intenso quando mais fibras se contraem no espaço de deteção do sensor (elétrodo) e quando mais frequente é a razão de “disparo”, ou frequência de contração dessas fibras.



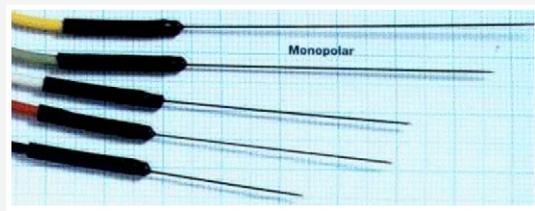
Na figura anterior pode apreciar-se um traçado de interferências de uma contração muscular que, entre os 7 e os 9 s foi de muito reduzida intensidade, seguiu-se depois um novo período de silêncio bioelétrico para, entre os 10 e os 13 s, voltar a perceber-se uma muito ligeira contração, como que antecipatória da mais intensa, que cresceu entre os 13 e os 16 s, para depois se manter até ao final do registo.



A



B



C

Estes traçados são normalmente obtidos através de eléctrodos que podem ser de superfície (B) ou implantados (A e C), como referido, passivos ou ativos (pré-amplificados para evitar a contaminação do sinal), não diferenciais (polares) ou diferenciais (bi ou multipolares - com duas ou mais superfícies de detecção para que cada uma constitua referência das restantes). Quando se utilizam eléctrodos diferenciais, as duas ou mais superfícies de detecção devem ser colocadas de forma a que sigam o alinhamento longitudinal das fibras musculares no músculo em causa, especialmente o respetivo ângulo de penação, quando for o caso. As superfícies de detecção devem ser colocadas a meio do ventre muscular, considerando o seu comprimento e largura, quer para melhorar as condições de standardização da monitorização, quer para evitar as zonas anatómicas de maior atenuação do sinal. Para efeitos de comparação de contrações de diferentes músculos e de diferentes indivíduos, ou de um mesmo indivíduo em momentos diferentes, os registos obtidos devem ser normalizados à contração isométrica voluntária máxima, à contração dinâmica máxima, ou ao máximo dinâmico circunstancial daquele músculo no movimento em causa. Relativamente às virtualidades e inconvenientes de cada procedimento de normalização subsiste ainda muita controvérsia na literatura especializada.



PROPOSTA
DE TRABALHO

DESAFIO

Procure encontrar e sistematizar os argumentos disponíveis na literatura acerca das vantagens e inconvenientes dos diferentes procedimentos de normalização do traçado electromiográfico.

↳ O registo EMG permite hoje, em biomecânica, saber:

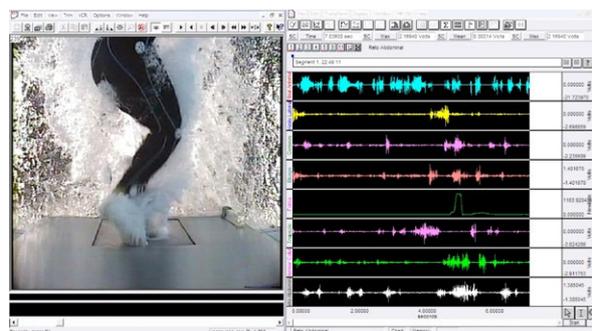
- se um músculo está ativo ou não;
- o tipo de fibras musculares maioritariamente recrutadas;
- o momento da sua ativação (*onset*) e desativação (*offset*);
- a variação do padrão de ativação com a fadiga (maioritariamente no domínio da frequência), com a aprendizagem e com o treino.
- a intensidade relativa da ativação muscular;
- a cronologia da ativação de músculos e grupos musculares sinérgicos e antagonistas;



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

Em casos particulares em que se estabeleça uma função de variação da ativação EMG com a força muscular desenvolvida, é possível obter-se uma ideia (mas apenas isso, um indicador e não uma medida rigorosa) da força muscular desenvolvida em cada momento de uma dada atividade por um dado músculo. Todavia, conhecendo-se um dado momento angular articular, a inércia segmentar e o padrão de recrutamento EMG relativo dos diferentes músculos agonistas e antagonistas, é possível estimar a contribuição dinamométrica relativa de cada um para o momento articular em causa.

Na figura anterior podemos observar o traçado de interferências de 7 músculos antes durante e depois do contacto com a parede durante uma viragem de crol. O contacto com a parede (plataforma de forças) está determinado pela curva da 5.ª linha de registo. Pode-se perceber quais os músculos ativos e inativos, mas não se pode perceber diretamente quais os mais ou menos ativos, na medida em que os traçados da imagem não estão ainda relativizados ao traçado máximo registável para cada músculo nestas condições.



3.5 Termografia

A termografia constitui uma área recente de investimento da biomecânica. Basicamente constitui-se no registo imagiológico da distribuição de temperaturas superficiais de um corpo ou sistema biomecânico. Poderá permitir, desta forma, despistar processos patológicos associados a lesões, como infeções e inflamações, mas poderá também permitir discernir zonas corporais mais ou menos ativas em termos metabólicos e/ou musculares.



BIOMECÂNICA
DO DESPORTO

Na imagem anterior observa-se o registo termográfico dos membros inferiores de uma atleta após a realização de um protocolo de múltiplos saltos. É possível perceber a maior temperatura registada nas zonas mais muscularmente ativas.

A termografia está ainda a dar os seus primeiros passos em biomecânica, esperando-se francos desenvolvimentos nos próximos anos.



Autoavaliação

VERDADEIRO FALSO

1. CLASSIFIQUE COMO VERDADEIRO (V) OU FALSO (F) AS SEGUINTE AFIRMAÇÕES:

- a) A cinemetria, a dinamometria, a morfometria (ou Antropometria biomecânica) e os meios auxiliares (EMG e termografia) constituem os domínios, por excelência, de avaliação biomecânica do movimento.
- b) As categorias de domínios de avaliação biomecânica do movimento decorrem diretamente das variáveis associadas na relação fundamental da dinâmica: $F = m \cdot a$.
- c) A posição (linear e angular) de um corpo num dado instante do tempo e esse mesmo instante, constituem as principais variáveis cinemétricas.
- d) A cinemática inversa preocupa-se com a monitorização da posição em cada instante e, depois, deriva os valores de velocidade e aceleração. Em contrapartida a cinemática direta parte da determinação da aceleração para, por integração, calcular a sequência de posições assumidas nos diferentes instantes.
- e) O radar é um tipo particular de electrogoniómetro.
- f) O acelerómetro é um dispositivo que regista a aceleração do corpo a que está acoplado por efeito de inércia.
- g) Frequência e amplitude de passada são variáveis normalmente associadas à avaliação qualitativa da corrida.
- h) Na fotografia do traçado luminoso contínuo é possível discorrer quantitativamente acerca da velocidade de execução do movimento.
- i) A frequência de aquisição comum na tecnologia vídeo é da ordem dos 500, 600 Hz.
- j) Se pretendo obter uma imagem parada nítida de um objeto a deslocar-se a grande velocidade devo captá-la com uma velocidade de obturação elevada.
- k) "Aliasing" é uma técnica cinematográfica.
- l) Os avanços da tecnologia biomecânica permitiram hoje a aquisição de coordenadas espaciais de diferentes pontos de um objeto em tempo real.
- m) Os sistemas de processamento 2D de imagem em biomecânica são mais suscetíveis à ocorrência de erros.
- n) Para o processamento tridimensional de imagens é necessário utilizar planos rigorosamente ortogonais entre si.
- o) Quando se utiliza um radar em cinemetria, quanto mais a trajetória do objeto em estudo se afastar do eixo do radar, maior será o erro de medida.



A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante

	VERDADEIRO	FALSO
p) <i>Um acelerómetro não é suficiente para nos ajudar a caracterizar a atividade física diária de um sujeito.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
q) <i>Um electrogoniómetro permite simultaneamente monitorizar a cinemática da generalidade das articulações do corpo humano em contexto de realização desportiva.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
r) <i>A plataforma de forças é dos dispositivos mais comuns em dinamometria biomecânica interna.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
s) <i>A plataforma de forças é um dispositivo dinamométrico sofisticado, permitindo conhecer a força de reação ao apoio, as suas três componentes, o respetivo ponto de aplicação e os momentos de força em torno dos três eixos coordenados.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
t) <i>A dinâmica inversa é um meio comum para solucionar o cálculo das forças internas a que se sujeita o sistema biomecânico.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
u) <i>Os dinamómetros isocinéticos são dos que permitem maior validade ecológica da experimentação, por aproximarem da forma mais marcada os movimentos ao seu perfil natural.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
v) <i>Os sistemas que avaliam a distribuição plantar de pressões são particularmente úteis para caracterizar o stress mecânico a que se sujeitam os pés em desporto, seja considerando a atividade em si mesma, os pisos, ou os calçados utilizados.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
w) <i>Os extensómetros são dispositivos sensíveis à deformação muito úteis para o estudo das tensões a que se sujeitam diferentes estruturas.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
x) <i>Na atualidade a modelação antropométrica biomecânica faz-se exclusivamente à custa de peças cadavéricas.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
y) <i>A EMG é uma técnica de avaliação direta da força desenvolvida por um grupo muscular.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
z) <i>A EMG dá-nos conta da cronologia e intensidade do recrutamento de um dado grupo muscular.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
aa) <i>O traçado EMG original chama-se "traçado de interferências".</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
bb) <i>A EMG de superfície é mais discriminativa da atividade elétrica de um músculo particular do que a técnica que recorre a eletrodos implantados.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
cc) <i>A termografia é uma técnica de avaliação da temperatura superficial dos corpos que começa a encontrar aplicações biomecânicas, especialmente discriminando zonas corporais mais e menos ativas metabolicamente.</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CHAVE

∧ (p)	∫ (λ)	∧ (t)	∧ (o)	∧ (f)	∫ (e)
∫ (qq)	∫ (x)	∧ (s)	∫ (u)	∫ (l)	∫ (p)
∧ (aa)	∧ (w)	∫ (r)	∫ (m)	∫ (y)	∧ (z)
∧ (z)	∧ (v)	∫ (b)	∧ (l)	∫ (β)	∧ (q)
	∫ (u)	∫ (d)	∫ (k)	∧ (j)	∧ (e-l)



Conclusão

Depois de termos realizado este nosso curso de introdução ao estudo da biomecânica do desporto, os nossos formandos estão agora mais aptos a entenderem o movimento desportivo, as suas razões e os seus constrangimentos. Estão também mais aptos a melhor perceberem de que ferramentas podem dispor para estudar mais detalhada e rigorosamente as alterações que se vão processando no(s) movimento(s) realizados pelos atletas. Estão, por isso, mais aptos a ajudarem a evoluir o movimento desportivo, a técnica dos praticantes a seu cargo, contribuindo para a maximização da performance desportiva e para a evolução dos padrões de prática desportiva.

Estão mais aptos a realizarem a sua tarefa fundamental de treinadores!

GLOSSÁRIO

A

ACELERÓMETRO

Dispositivo que permite registar a aceleração por efeito mecânico inercial (determina a força imposta por uma massa conhecida quando é acelerada – daí a referência “inercial”). A este tipo de medição também se chama “cinemática inversa”.

C

CINEMETRIA

Domínio de avaliação biomecânica relativa ao estudo das variáveis cinemáticas, permitindo descrever o movimento.

CRONOFOTOGRAFIA

Fotografia sequencial sobre uma mesma película, resultante da exposição múltipla da mesma em instantes diferentes.

D

DIGITALIZAÇÃO

Processo de aquisição digital (computacional) de coordenadas de pontos relevantes numa imagem. Pode ser realizado manualmente, semiautomaticamente ou automaticamente.

DLT

Direct Linear Transformation é um algoritmo que permite a reconstrução de coordenadas espaciais a partir de dois pares de coordenadas planares.

DINAMOMETRIA

Conjunto de procedimentos que permitem registar as tenções e forças exercidas pelos e sobre os sistemas biomecânicos.

DINAMOMETRIA EXTERNA

Sistemas de avaliação de forças externas ao sistema biomecânico.

DINAMOMETRIA INTERNA

Sistemas de avaliação de forças internas ao sistema biomecânico.

DINÂMICA INVERSA

Solução matemática para a estimação de forças a partir da avaliação da aceleração a que fica sujeita um segmento ou um corpo, conhecendo-se a sua massa (muito utilizada para a estimação de forças internas no sistema biomecânico).



DINAMOMETRIA ISOCINÉTICA

Dinamometria baseada em sistemas de resistência acomodada à potência aplicada e que, assim, mantêm a velocidade do movimento constante.

DISPOSITIVOS DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE COORDENADAS

Dispositivos que permitem a aquisição automática de coordenadas de pontos relevantes num corpo. Podem ser baseados em soluções de monitorização de luz (infravermelho, por exemplo), de emissores eletromagnéticos, ou de centrais inerciais.

E

ELECTROGONIÓMETRO

Dispositivo que regista eletronicamente a posição angular de dois segmentos.

ELÉTRODOS ATIVOS

Elérodos que incorporam uma unidade de pré-amplificação do sinal EMG.

ELETROMIOGRAFIA (EMG)

Técnica de registo da atividade elétrica muscular. Pode ser de superfície (registos obtidos à superfície da pele) ou de profundidade, através da implantação de arames ou de agulhas condutoras.

F

FATOR DE ESCALA (Scaling Factor)

Medida que estabelece a equivalência num dado contexto cinemático imagiológico entre as dimensões reais do objeto e as dimensões na imagem.

FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO (FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM)

Frequência (vezes por segundo – Hz) com que um evento é capturado pela imagem, ou pelo dispositivo de medida não imagiológico. Nos sistemas de imagem é determinada pelo número de imagens suscetíveis de serem capturadas por unidade de tempo. No vídeo convencional oscila entre 25 e 50 Hz, mas pode ascender a 20.000 Hz ou mais, inclusivamente a cores. A frequência de aquisição é decisiva para que se consiga descrever convenientemente um determinado movimento, sem suscetibilidade a fenómenos de aliasing (representação adulterada de um fenómeno por insuficiente frequência de amostragem).

FOTOGRAFIA ESTROBOSCÓPICA

Fotografia sequencial numa mesma película obtida em exposição permanente com iluminação múltipla, em diferentes instantes do tempo, resultante de uma luz estroboscópica.

FOTOGRAFIA DO TRAÇADO LUMINOSO

Fotografia em exposição permanente de uma cena onde uma fonte de luz (permanente ou intermitente) traça uma trajetória.

M

MEIOS CINEMÁTICOS NÃO IMAGIOLÓGICOS

Meios cinemáticos que não recorrem ao registo de imagem para a caracterização do movimento (velocímetros, acelerómetros e electrogoniómetros).

MEIOS IMAGIOLÓGICOS FOTOQUÍMICOS

Meios que registam imagem por processo fotoquímico, isto é, baseados numa reação química produzida numa superfície fotossensível (sensível à luz). São os casos da fotografia e do filme.

MEIOS IMAGIOLÓGICOS

Meios cinemáticos baseados em registo de imagens do movimento. Podem ser imagens de fotografia, cinema, ou vídeo.

MEIOS IMAGIOLÓGICOS ÓTICO-ELETROMAGNÉTICOS E ÓTICO-ELETRÓNICOS

Meios que registam imagens em base eletromagnética ou eletrónica, como é o caso da tecnologia vídeo de fita e digital.

MORFOMETRIA

Domínio da avaliação biomecânica onde se pretende modelar as características inerciais dos sistemas biomecânicos. No caso da biomecânica humana designa-se habitualmente por **Antropometria biomecânica**.

P

PLATAFORMAS DE FORÇAS

Dispositivos dinamométricos por excelência em biomecânica. Permitem medir a força resultante de reação do solo ao apoio sobre o mesmo, decomposta nas suas três componentes, bem como os três momentos e a posição do Centro de Pressão. Podem ser extensiométricas ou piezoelétricas, consoante a solução adotada para “sentir” a tensão aplicada. Os extensómetros percebem a alteração da resistência (impedância) elétrica decorrente da deformação associada a uma tensão, enquanto que os dispositivos piezoelétricos reportam as alterações da condutividade elétrica de um cristal em função das tensões a que está submetido.

PODOBAROMETRIA

Estudo das pressões plantares registadas durante a atividade biomecânica envolvendo os pés como actuadores. Pode ser concretizada através de plataformas, de palmilhas, ou de

sistemas de monitorização de pontos específicos da superfície de contacto.

POSIÇÃO (LINEAR E ANGULAR)

Variável cinemétrica fundamental que, em conjunto com o tempo, permite calcular as demais variáveis de interesse (deslocamento, trajetória, velocidade, aceleração).

R

RETIFICAÇÃO DO TRAÇADO DE INTERFERÊNCIAS

Passagem do sinal simetricamente distribuído em torno de “zero” para sinal positivo, suscetível de ser ulteriormente processado.

T

TERMOGRAFIA

Registo imagiológico da distribuição de temperaturas superficiais num corpo.

TRAÇADO DE INTERFERÊNCIAS

Registo bruto do traçado EMG correspondendo à somação espacial e temporal dos potenciais de ação das diferentes fibras musculares recrutadas para um dado movimento.

V

VELOCIDADE DE OBTURAÇÃO

A velocidade de obtenção descreve o tempo que uma imagem demora a ser capturada e é determinante da sua qualidade. Quando em movimentos rápidos se usa uma velocidade de obtenção baixa, é possível que cada imagem parada se caracterize por um “borrão” mal definido, resultante do facto de, durante o tempo de captura da imagem o corpo ou objeto em questão ter assumido diferentes posições face à câmara.

VELOCÍMETRO

Meio cinemético que permite registar a velocidade por meio mecânico, acústico ou eletromagnético.

VOLUME DE CALIBRAÇÃO

Volume do sistema utilizado para calibrar o espaço onde se pretende recolher dados cineméticos da *performance*.

VOLUME DE PERFORMANCE

Espaço ocupado pela performance que se pretende caracterizar.





LIGAÇÕES

International Society of Biomechanics in Sports (Sociedade Internacional de Biomecânica do Desporto)

<http://www.isbs.org/>

Sports Biomechanics

<http://www.tandf.co.uk/journals/rspb>

Journal of Applied Biomechanics

<http://journals.humankinetics.com/jab>

Journal of Biomechanics

<http://www.jbiomech.com/>



SUGESTÕES DE LEITURA

De entre os livros começo por recomendar uma referência em português do Brasil, bem traduzido e revisto:

McGinnis, P.M. (2002). *Biomecânica do esporte e exercício*. Porto Alegre, Artmed (edição original de Human Kinetics, IL, 1999).

Para aprofundar as questões tratadas recomendo vivamente as excelentes obras:

Robertson, D.G.E.; Caldwell, G.E.; Hanill, J.; Kamen, G.; Whittlesey, S.N. (2004). *Research methods in biomechanics*. Champaign, IL, Human Kinetics.

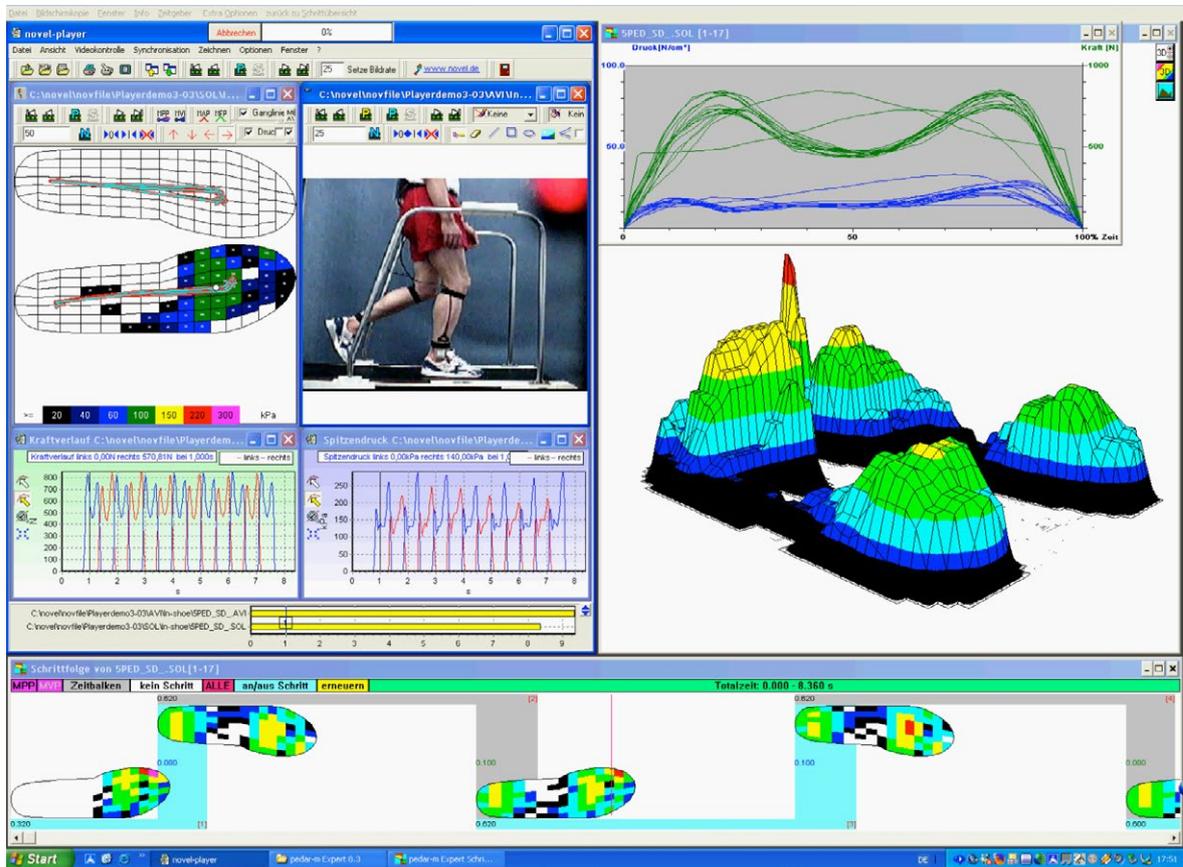
Winter, D.A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement*. New York, John Wiley & Sons.

Nigg, B. and Herzog, W. (eds.) (1994). *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. Chichester, John Wiley & Sons.

Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics*. New York, Springer.



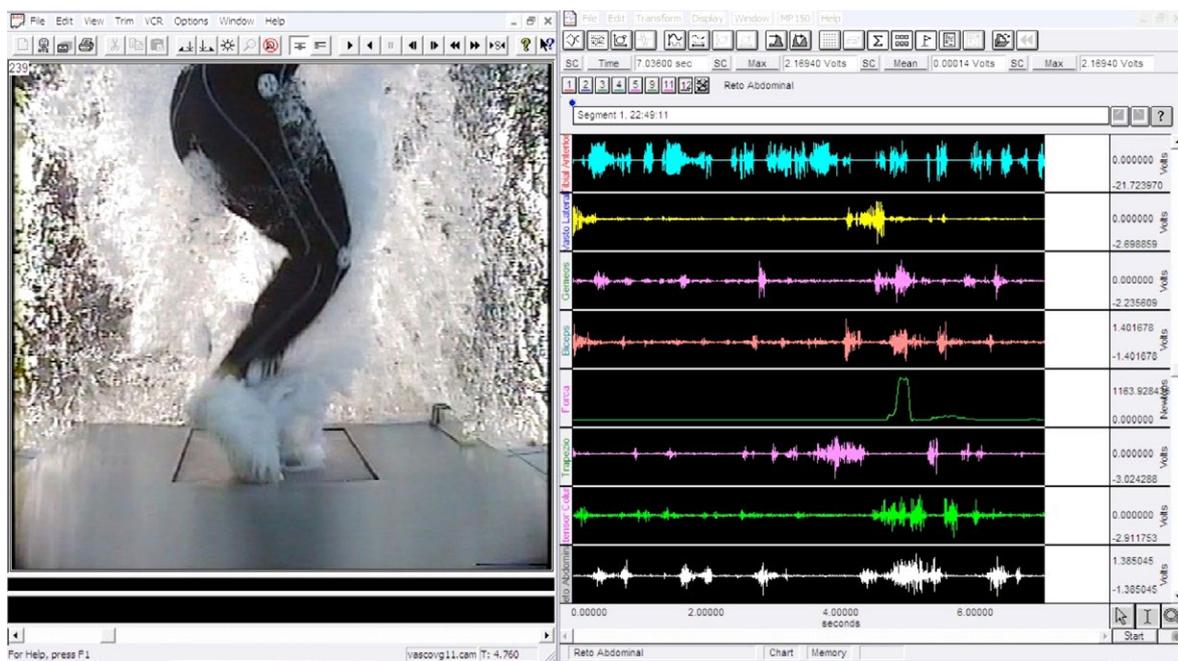
A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante



BIOMECÂNICA
DO DESPORTO

VOLTAR

A Biomecânica na avaliação do movimento desportivo e no fornecimento de *feedback* ao executante



FICHA TÉCNICA

PLANO NACIONAL DE FORMAÇÃO DE TREINADORES
MANUAIS DE FORMAÇÃO - GRAU II

EDIÇÃO

INSTITUTO PORTUGUÊS DO DESPORTO E JUVENTUDE, I.P.
Rua Rodrigo da Fonseca nº55
1250-190 Lisboa
E-mail: geral@ipdj.pt

AUTORES

CLÁUDIA MINDERICO

NUTRIÇÃO, TREINO E COMPETIÇÃO

FEDERAÇÃO PORTUGUESA DE DESPORTO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA

DESPORTO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA

JOÃO PAULO VILAS-BOAS

BIOMECÂNICA DO DESPORTO

JOSÉ GOMES PEREIRA

FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO

JOSÉ MANUEL BORGES

TEORIA E METODOLOGIA DO TREINO DESPORTIVO - MODALIDADES INDIVIDUAIS

LUÍS HORTA

LUTA CONTRA A DOPAGEM

OLÍMPIO COELHO

PEDAGOGIA DO DESPORTO

PAULO CUNHA

TEORIA E METODOLOGIA DO TREINO DESPORTIVO - MODALIDADES COLETIVAS

RAÚL OLIVEIRA

TRAUMATOLOGIA DO DESPORTO

SIDÓNIO SERPA

PSICOLOGIA DO DESPORTO

TEOTÓNIO LIMA

ÉTICA E DEONTOLOGIA PROFISSIONAL

COORDENAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CONTEÚDOS

António Vasconcelos Raposo

COORDENAÇÃO DA EDIÇÃO

DFQ - Departamento de Formação e Qualificação

DESIGN E PAGINAÇÃO

BrunoBate-DesignStudio