

# MH

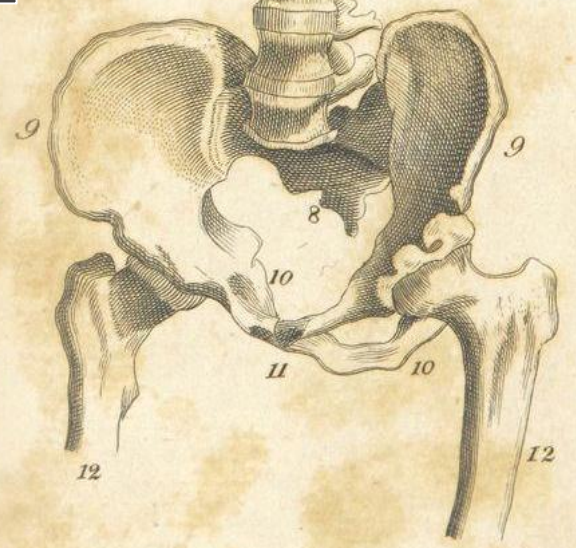
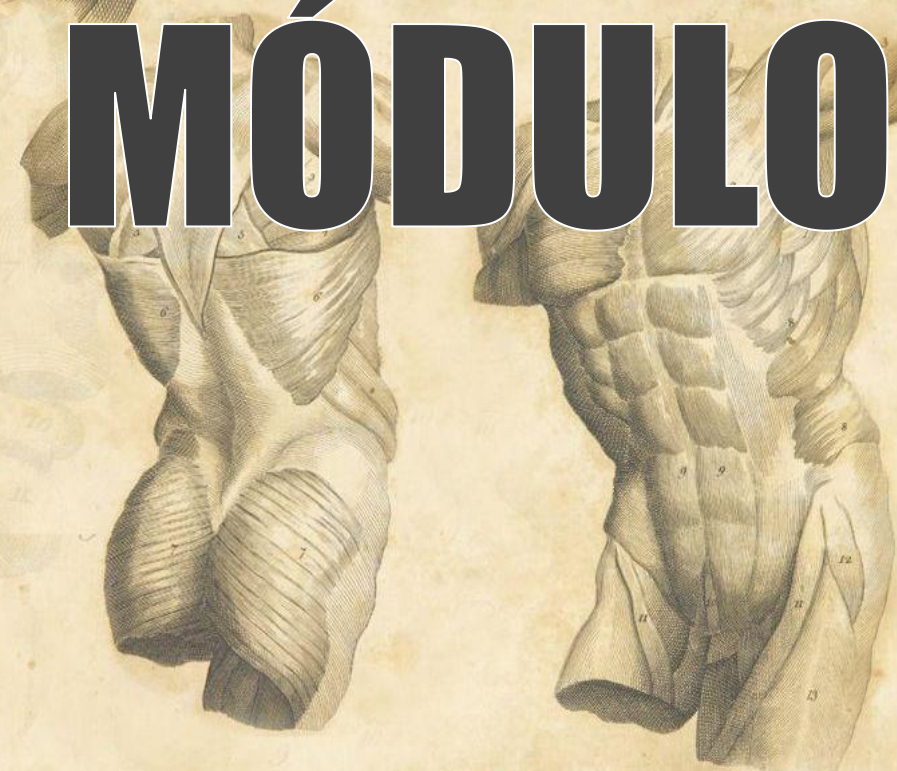
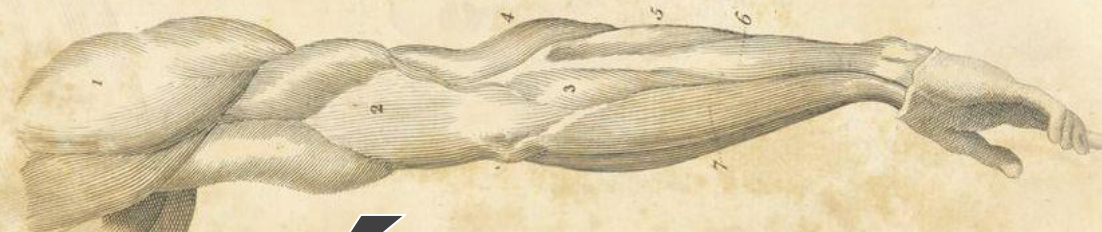
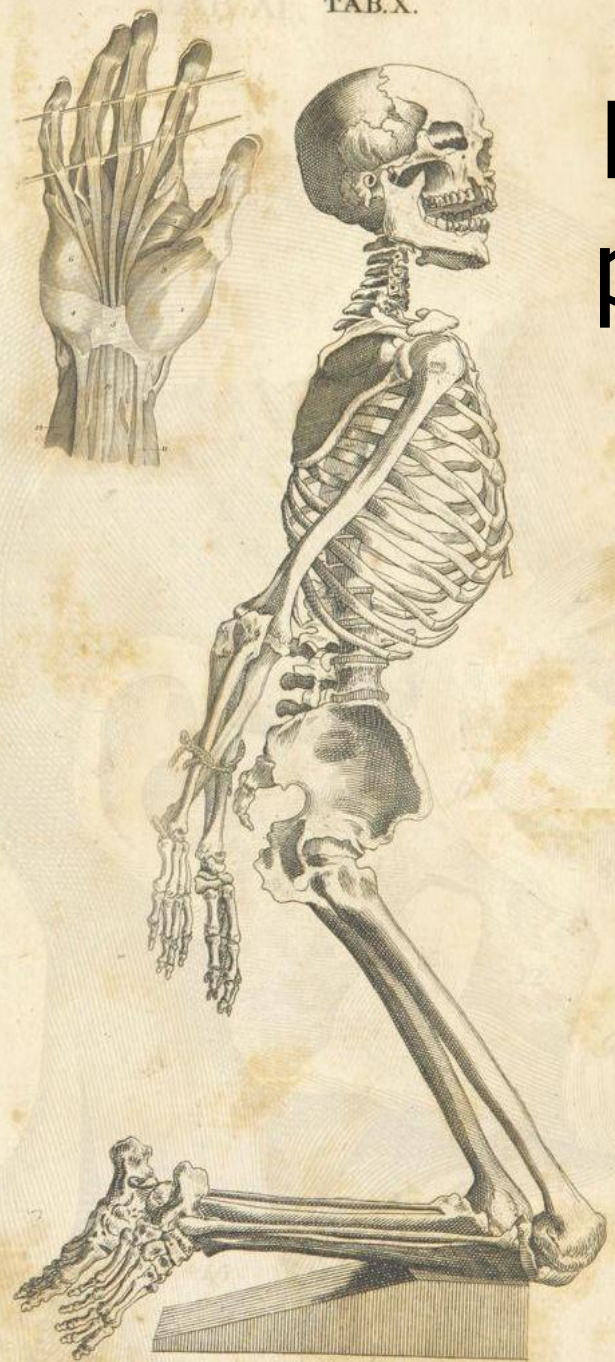
MOTRICIDADE HUMANA

## ESTUDO DO MOVIMENTO



# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

# MÓDULO 4





**Ano letivo 2025-2026**

ESTUDO DO MOVIMENTO | MÓDULO 4

**FUNDAMENTOS DE MECÂNICA PARA ANÁLISE DO MOVIMENTO**



**Cofinanciado pela  
União Europeia**

Os Fundos Europeus mais próximos de si.

Prof. João Jorge

## Técnico/a de Desporto

Nível QNQ/QEQ

4

Código

813353

Criada em 2016-05-29

Data da última alteração 2020-07-22

ÁREA DE EDUCAÇÃO E FORMAÇÃO: 813 - Desporto

PONTOS DE CRÉDITO: 198,00

**DESCRIÇÃO DA QUALIFICAÇÃO:** Participar no planeamento, na organização e no desenvolvimento do treino de modalidades desportivas, individuais ou colectivas, bem como organizar e dinamizar actividades físicas e desportivas em contexto de ocupação de tempos livres, animação e lazer.

**OBSERVAÇÕES:** Esta qualificação permite o acesso a uma profissão/atividade profissional regulamentada 



## ÁREAS DE COMPETÊNCIAS DO PERFIL DOS ALUNOS

Linguagens e textos (A)	Informação e comunicação (B)	Raciocínio e resolução de problemas (C)	Pensamento crítico e pensamento criativo (D)	Relacionamento interpessoal (E)
Desenvolvimento pessoal e autonomia (F)	Bem-estar, saúde e ambiente (G)	Sensibilidade estética e artística (H)	Saber científico, técnico e tecnológico (I)	Consciência e domínio do corpo (J)

## OPERACIONALIZAÇÃO DAS APRENDIZAGENS ESSENCIAIS (AE)

### Conceitos-chave | Ideias-chave

Centro de gravidade | Posição | Deslocamento | Deslocamento angular | Velocidade | Velocidade angular | Aceleração | Força | Momento de uma força | Trabalho de uma força | Energia | Potência | Equilíbrio | Estabilidade

ORGANIZADOR	<b>AE: CONHECIMENTOS, CAPACIDADES E ATITUDES</b> O aluno deve ser capaz de:	<b>AÇÕES ESTRATÉGICAS DE ENSINO ORIENTADAS PARA O PERFIL DOS ALUNOS</b> (Exemplos de ações a desenvolver)	<b>DESCRITORES DO PERFIL DOS ALUNOS</b>
<b>CINEMÁTICA (GRANDEZAS LINEARES E ANGULARES)</b>	<p>Analisar movimentos retilíneos reais, utilizando equipamento de recolha e tratamento de dados (sensores de posição e interface de recolha de dados, vídeo e software de análise de vídeo) sobre a posição de um corpo, ao longo do tempo, associando a posição a um determinado referencial.</p> <p>Interpretar gráficos posição-tempo e velocidade-tempo de movimentos retilíneos reais.</p> <p>Aplicar os conceitos de posição, deslocamento, velocidade e aceleração, na descrição de movimentos retilíneos em situações reais.</p> <p>Aplicar os conceitos de deslocamento angular e velocidade angular na descrição de movimentos do corpo envolvendo rotações (de um segmento e do corpo na totalidade).</p>	<p>Proporcionar atividades formativas que possibilitem ao aluno:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>selecionar, organizar e sistematizar informação pertinente, com leitura e estudo autónomo, que permita analisar e interpretar atividades físicas e a produção de movimento humano;</li> <li>desenvolver tarefas associadas à compreensão e à mobilização dos conhecimentos;</li> <li>estabelecer relações interdisciplinares com a disciplina de Educação Física;</li> <li>utilizar conhecimento para participar de forma adequada e resolver problemas ao subjacentes ao exercício físico e à produção de movimento;</li> </ul>	<p>Conhecedor Sabedor Culto Informado (A, B, G, I, J)</p>
<b>DINÂMICA</b>	<p>Interpretar as transferências de energia como trabalho em sistemas mecânicos, analisando situações de movimento do ponto de vista energético.</p> <p>Relacionar as forças que atuam em corpos em interação com base na Terceira Lei de Newton, identificando e representando essas forças.</p> <p>Aplicar a Segunda Lei de Newton para um sistema de partículas a situações do dia a dia que envolvam a análise da intensidade da resultante das forças numa colisão em função do tempo de duração da mesma.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>elaborar sequências criativas de habilidades e de coreografias;</li> <li>conceber situações em que determinado conhecimento possa ser aplicado;</li> <li>criar soluções estéticas criativas e pessoais;</li> <li>problematizar situações reais próximas dos seus interesses;</li> <li>formular e comunicar opiniões, cientificamente fundamentadas, relacionadas com as áreas de educação e formação das Artes do Espetáculo, do Desporto e do Trabalho Social e Orientação;</li> <li>analisar os seus desempenhos e os dos outros dando e aceitando sugestões de melhoria;</li> </ul>	<p>Criativo Expressivo (A, C, D, J)</p> <p>Crítico Analítico (A, B, C, D, G)</p>
<b>ESTÁTICA</b>	<p>Analisar e interpretar situações envolvendo forças de atrito, com o sentido do movimento do centro de massa e com sentido oposto.</p> <p>Analisar e interpretar o efeito rotativo de uma força, com base na grandeza momento de uma força, em situações de movimentos de um segmento e do corpo na totalidade.</p> <p>Aplicar os conceitos de centro de gravidade, corpos articulados e corpo rígido ao sistema músculo-esquelético.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pesquisar de forma autónoma e criteriosa integrando saberes prévios, para construir novos conhecimentos;</li> <li>aceitar opções, falhas e erros dos companheiros;</li> <li>aceitar o apoio dos companheiros nos esforços de aperfeiçoamento próprio;</li> <li>argumentar ou aceitar pontos de vista diferentes;</li> <li>desenvolver tarefas de planificação, de revisão e de monitorização;</li> <li>saber questionar uma situação e interrogar-se sobre o seu próprio conhecimento;</li> </ul>	<p>Indagador Investigador (C, D, F, H, I)</p> <p>Respeitador do outro e da diferença (A, B, E, F, H)</p> <p>Sistematizador Organizador (A, B, C, I, J)</p> <p>Questionador (A, F, G, I, J)</p>

ORGANIZADOR	<b>AE: CONHECIMENTOS, CAPACIDADES E ATITUDES</b> O aluno deve ser capaz de:	<b>AÇÕES ESTRATÉGICAS DE ENSINO ORIENTADAS PARA O PERFIL DOS ALUNOS</b> (Exemplos de ações a desenvolver)	<b>DESCRITORES DO PERFIL DOS ALUNOS</b>
<b>INSTRUMENTAÇÃO E ANÁLISE DE MOVIMENTOS</b>	<p>Explicar o equilíbrio e a estabilidade com base na análise dos fatores que influenciam o equilíbrio rotacional de um corpo, aplicando esse conhecimento na análise das forças produzidas pelos músculos para estabilizar forças exteriores, demonstrando a influência da força gravítica e de outras forças exteriores.</p> <p>Compreender a importância da coordenação nas técnicas e meios de análise qualitativa e quantitativa dos movimentos.</p> <p>Aplicar os conhecimentos na análise dos movimentos (observação de tarefas motoras diversas) por forma a corrigir ou eliminar os erros, pesquisando sobre estratégias para otimizar a <i>performance</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• apresentar ideias, questões e respostas, bem como resultados de trabalhos práticos, de forma organizada e clara, utilizando diversas tecnologias;</li> <li>• cooperar, promovendo um clima relacional favorável ao aperfeiçoamento pessoal e prazer proporcionado pelas atividades;</li> <li>• ser autónomo na realização das tarefas;</li> <li>• apreciar os seus desempenhos e os dos outros, dando e aceitando sugestões de melhoria;</li> <li>• interpretar e explicar as suas opções.</li> </ul>	<p>Comunicador (A, B, D, E, H)</p> <p>Participativo   Colaborador   Responsável   Autónomo (B, C, D, E, F, G, I, J)</p> <p>Autoavaliador   Heteroavaliador (transversal às áreas)</p>

## AVALIAÇÃO

### (Sugestões)

Apresentam-se algumas sugestões de operacionalização de avaliação, centradas em metodologias promotoras de uma apropriação efetiva dos conhecimentos, capacidades e atitudes a desenvolver.

#### Formativa:

- grelha de avaliação de trabalhos de investigação: identificação e descrição do fenómeno a ser investigado, conceção e desenvolvimento de um plano de investigação, recolha de dados com base em pesquisa ou no contexto de uma experiência ou de uma simulação/modelo computacional, avaliação dos resultados e, se necessário, reajuste do plano de investigação (formulação de questões e apresentação de problemas de movimentos do corpo, com suporte audiovisual, analisados em grupo, por exemplo, análise da intensidade das forças numa colisão em *airbags*, nos colchões em saltos dos desportistas e na flexão dos membros inferiores, entre outros);
- ficha de autoavaliação, que traduza o processo de aprendizagem dos alunos (pontos fortes e pontos fracos, oportunidades e ameaças).

#### Sumativa:

- grelha de avaliação de organizadores gráficos (quadros ou mapas de conceitos), em diários de aprendizagem ou cadernos digitais, que no contexto de uma situação concreta relacionem conceitos estruturantes (posição, deslocamento, deslocamento angular, velocidade, velocidade angular, aceleração, força, momento de uma força, trabalho de uma força, energia e potência);
- grelha de avaliação de trabalhos práticos (relatórios, maquetes, cadernos digitais, apresentações eletrónicas, vídeos, entre outros), em que se analisem movimentos e se definam estratégias de melhoria da *performance*.

Fundamentos de Mecânica  
para análise do Movimento

**Metodologia**  
Trabalho em Grupo



## Trabalho em Grupo:

Constituição de Grupos Heterogénios aleatórios  
(<https://pt.piliapp.com/random/wheel/>).



Constituição  
de Grupos  
de 4 alunos



## Roleta De Nomes Aleatórios



Iniciar

Zerar

1 Ana  
2 Augusto  
3 Bernardo  
4 Beatriz  
5 Carlos  
6 João  
7 Leonor  
8 Patrícia  
9 Rita  
10 Ricardo  
11 Rui  
12 Valentim

SPACE Girar

X Feche o banner

S Ocultar item selecionado

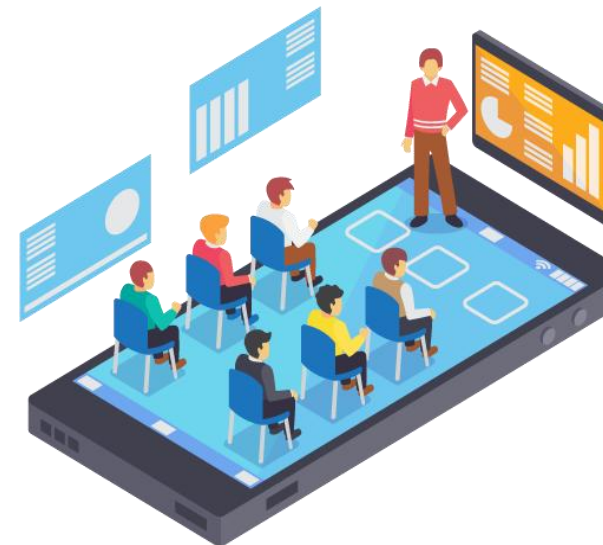
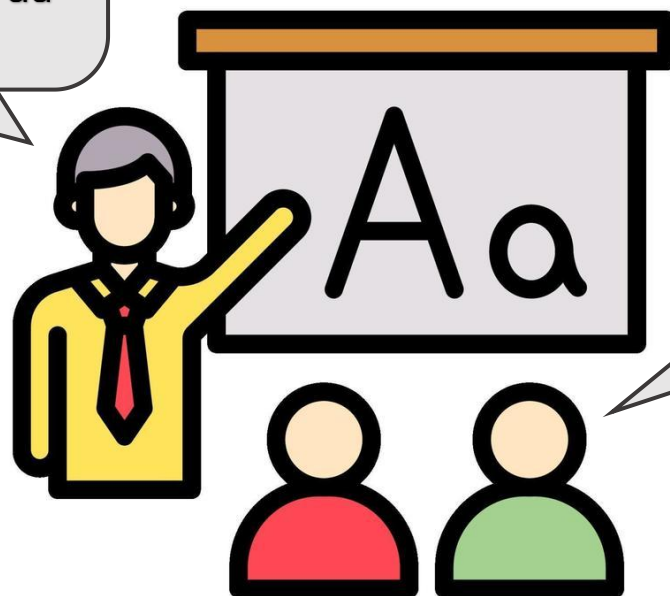
R Zerar

E Editar

F Tela cheia

# Preparação

Instruções de preparação da aula. Torna a aula mais eficaz e rentável. Envolve os alunos na Colaboração e construção da aula de EF.



## Google Classroom

Eu consulto o Classroom porque faz parte das minhas tarefas como estudante. Eu sou Responsável e Autónomo.

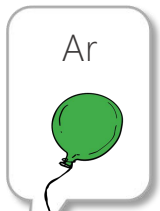
## Responsabilidade individual e do Grupo



Água



Silêncio



Ar



Qualidade



Terra



Tempo



Fogo



Motivação  
(Empenho)



**Água:** Empatia, gestão de conflitos, mediador, moderador e motivador, investe com paciência na harmonia e sucesso do grupo (**Gestor do Silêncio**).



**Ar:** Atento, claro, concentrado, reflexivo facilitando o raciocínio. Questionador e facilitador do pensamento crítico, da lógica e a coerência. Garante a concentração do Grupo na tarefa (**Gestor da Qualidade**).



**Terra:** é o líder do grupo, mostrando firmeza, confiança, ajudando na tomada de decisões e orientando o grupo no sentido do empenho, responsabilidade e sucesso (**Porta-Voz e Gestor do Tempo**).



**Fogo:** é o eterno otimista, motivador acreditando na capacidade do grupo, sendo inspirador e contagia com a sua alegria e boa disposição (**Gestor do Empenho/Motivação**).



Silêncio



Qualidade



Motivação  
(Empenho)



Tempo



Os alunos distribuem funções, assumem as respectivas responsabilidades para ajudar no sucesso do grupo.

# Avaliação Formativa



Preenchimento do  
Formulário de Avaliação  
Formativa

Permite que os alunos,  
em grupo, façam uma  
reflexão sobre os  
conteúdos da aula de  
forma a rever e consolidar.

5.0 ★★★★★



## Comportamento:

- Relação com colegas
- Cooperar nas tarefas do grupo
- Falar o necessário em voz baixa
- Respeitar professor

## Participação:

- Empenho
- Atenção
- Qualidade da participação

## Responsabilidade:

- Consultar Classroom
- Pontualidade
- Trazer material
- Ser Responsável/autónomo



# SOLE

O método **SOLE** (*Self-Organized Learning Environment*), criado por Sugata Mitra, propõe que os alunos trabalhem de forma autónoma, colaborativa e investigativa em torno de grandes questões (**Big Questions**). É muito usado em contextos de aprendizagem ativa e funciona bem em grupos. Eis como pode organizar o trabalho em grupo usando este método:

Definir a Grande Questão (Big Question)	Formação dos grupos	Exploração e pesquisa autónoma	Registo e síntese da informação	Partilha e apresentação	Reflexão final (metacognição)
<p>Deve ser aberta, desafiadora e interdisciplinar.</p> <p>O objetivo é despertar curiosidade e não ter apenas uma resposta única.</p> <p>Exemplo: “Como a inteligência artificial pode mudar o futuro do trabalho?” ou “Por que é que o coração nunca para de bater?”</p>	<p>Organizar grupos de 4 alunos.</p> <p>A escolha pode ser livre ou orientada pelo professor (Grupos heterogénios), mas a dinâmica deve permitir interação.</p> <p>Importante: os grupos devem ser autogeridos (eles decidem funções, papéis, divisão de tarefas)</p>	<p>Os alunos investigam a questão usando recursos disponíveis (livros, internet, experiências práticas, entrevistas, etc.).</p> <p>O professor atua como facilitador, não como transmissor de conhecimento.</p> <p>Incentiva-se a circulação: os alunos podem trocar ideias entre grupos, observar como os outros trabalham e até reformular estratégias.</p>	<p>Cada grupo organiza as descobertas de forma criativa (mapa mental, cartaz, apresentação digital, dramatização, etc.).</p> <p>Devem selecionar os pontos-chave que respondem (parcialmente) à questão.</p>	<p>Os grupos apresentam as suas conclusões às restantes equipas.</p> <p>Deve haver espaço para perguntas e confronto de ideias.</p>	<p>O professor conduz um momento de reflexão:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• O que aprenderam sobre o tema?</li><li>• Como foi trabalhar em grupo de forma autónoma?</li><li>• O que fariam diferente numa próxima vez?</li></ul> <p>Esta etapa consolida não só os conteúdos, mas também competências de colaboração e pensamento crítico.</p>

# SOLE

O método **SOLE** (*Self-Organized Learning Environment*), criado por Sugata Mitra, propõe que os alunos trabalhem de forma autónoma, colaborativa e investigativa em torno de grandes questões (**Big Questions**). É muito usado em contextos de aprendizagem ativa e funciona bem em grupos. Eis como pode organizar o trabalho em grupo usando este método:

## Papéis do professor/facilitador no SOLE

Alunos - Autoregulação da aprendizagem:

- Motivar: lançar boas perguntas e criar um ambiente de curiosidade.
- Observar: circular, ouvir, estimular novas questões sem dar respostas prontas.
- Valorizar: reconhecer esforços, promover a partilha entre grupos.
- Orientar a reflexão: ajudar os alunos a perceber o processo de aprendizagem.

## Vantagens do uso do SOLE em grupo

- Estimula aprendizagem autónoma e colaborativa.
- Desenvolve pensamento crítico e criativo.
- Reforça competências sociais (escuta, respeito, cooperação).
- Dá protagonismo ao aluno no processo de aprender

# SOLE

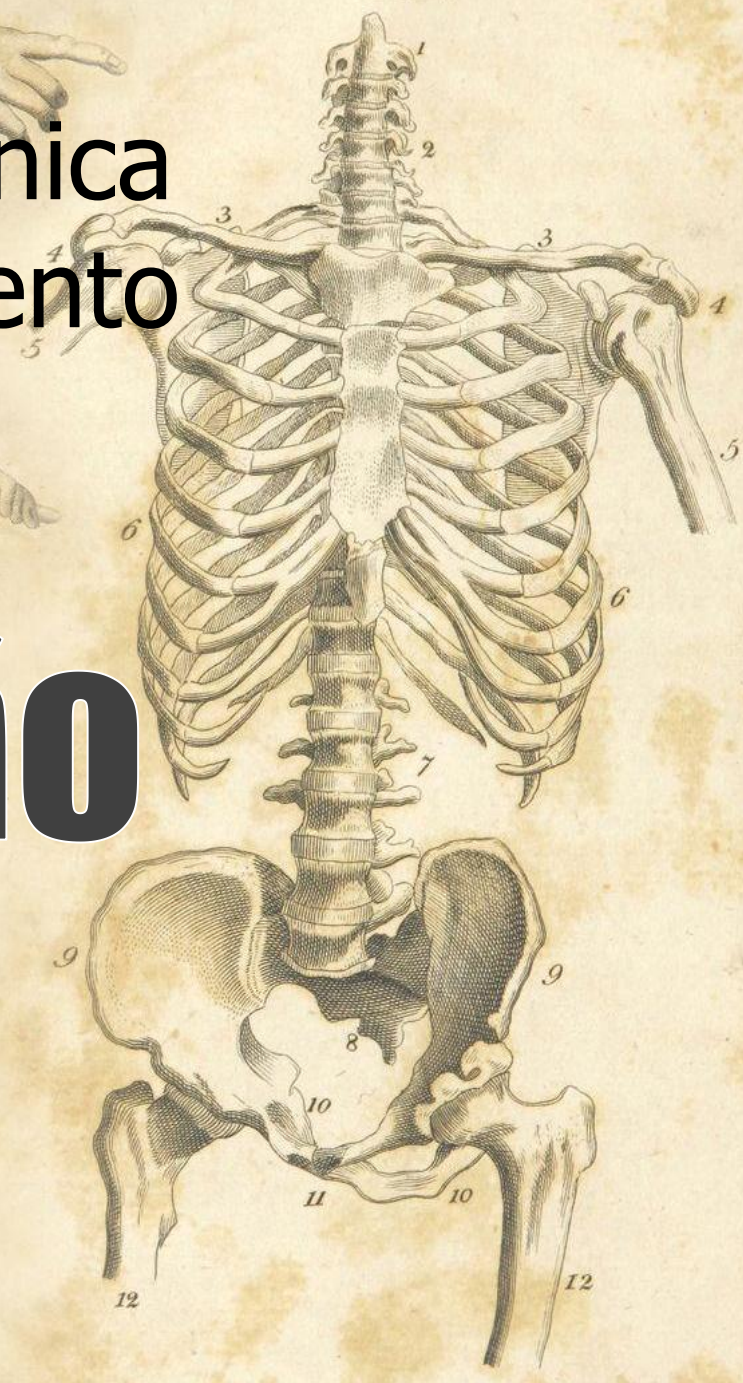
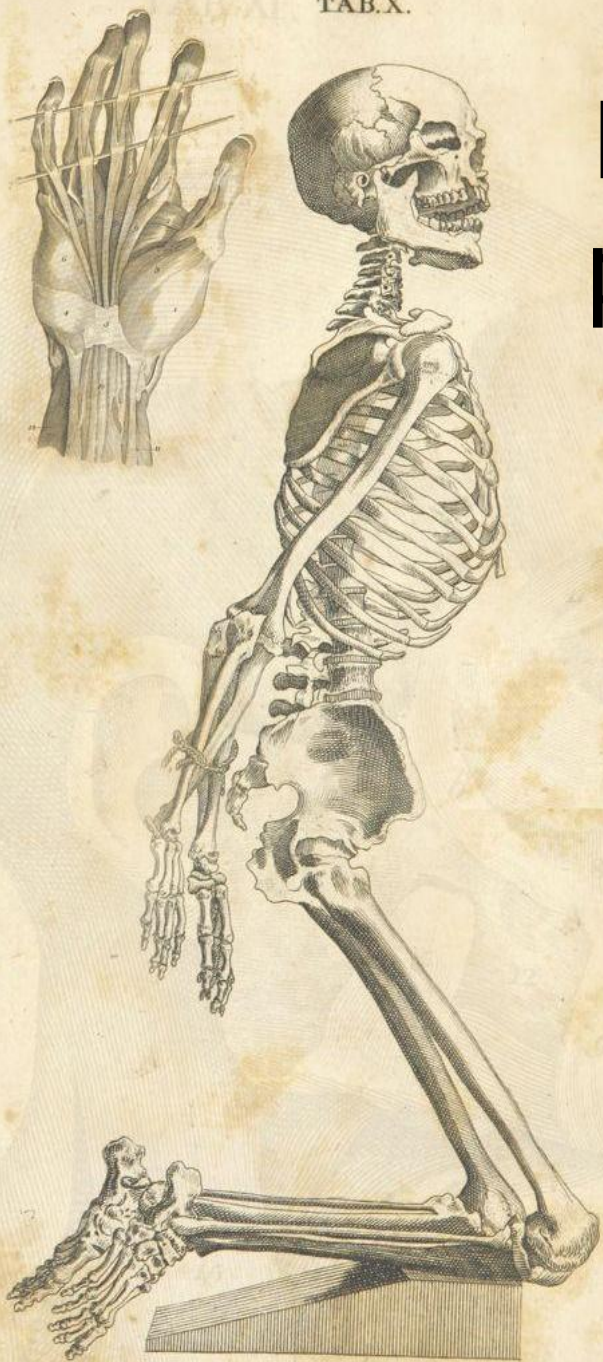
O método **SOLE** (*Self-Organized Learning Environment*), criado por Sugata Mitra, propõe que os alunos trabalhem de forma autônoma, colaborativa e investigativa em torno de grandes questões (**Big Questions**). É muito usado em contextos de aprendizagem ativa e funciona bem em grupos. Eis como pode organizar o trabalho em grupo usando este método:

Etapa	O que fazer	Duração Sugerida	Papel do professor
Lançamento da Grande Questão	Apresentar uma pergunta aberta, provocadora e interdisciplinar.	5 min	Inspirar e criar curiosidade. Não dar respostas.
Exploração/Pesquisa autônoma	Alunos pesquisam com os recursos disponíveis (internet, livros, experiências). Podem circular e trocar ideias entre grupos.	20–40 min	Circular, observar, estimular novas perguntas, sem intervir com respostas diretas.
Síntese de Informação	Cada grupo organiza os resultados (cartaz, mapa mental, apresentação, dramatização, etc.).	15–20 min	Sugerir formas criativas de síntese.
partilha entre grupos	Apresentação das descobertas a toda a turma.	15–25 min	Facilitar o diálogo, garantir que todos participam.
Reflexão final (metacognição)	Conversa coletiva sobre o que aprenderam sobre o tema e sobre o processo de trabalhar em grupo.	10–15 min	Conduzir a reflexão, valorizar aprendizagens e atitudes Conduzir a reflexão, valorizar aprendizagens e atitudes



# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

# Introdução



## A Dinâmica (O Campo Geral)

A **Dinâmica** é o ramo da mecânica que estuda os corpos em movimento. Ela divide-se em duas partes principais:

- Cinética**
- Cinemática**

Portanto, a dinâmica é o "todo", e a cinética é apenas uma "parte" dela.

Termo	Definição	Foco Principal
Dinâmica	Estudo de corpos em movimento.	O movimento em si (Cinética + Cinemática).
Cinética	Estudo das causas do movimento.	Força, Torque, Trabalho, Impulso.
Cinemática	Descrição do movimento.	Velocidade, Aceleração, Trajetória.

## A **Cinética** (Causas do Movimento)

A **Cinética** foca-se nas **forças** que provocam, modificam ou param o movimento.

- O que analisa:** Forças internas (contração muscular), forças externas (gravidade, resistência do ar, reação do solo), torque, trabalho e energia.
- Pergunta chave:** "*Por que é que o corpo se move?*" (Ex: Quanta força o quadricípete faz no agachamento?)

## A **Cinemática** (Descrição do Movimento)

Para compreenderes a diferença, deves saber que a Cinemática é a outra face da moeda. Ela descreve o movimento sem se preocupar com as forças.

- O que analisa:** Tempo, deslocamento, velocidade e aceleração.
- Pergunta chave:** "Como é que o corpo se move?" (Ex: Qual foi a velocidade do pé no momento do chute?)

As causas do movimento humano são estudadas pela **Cinética**, que é o ramo da biomecânica que analisa as forças que provocam, modificam ou terminam o movimento.

### **Forças Internas (A Origem Biológica)**

São as forças geradas dentro do corpo humano. A principal causa interna do movimento é a contração muscular.

- ❑ **Músculos:** Atuam como os "motores" do corpo, puxando os ossos (alavancas) através dos tendões.
- ❑ **Torque Muscular:** Como os músculos se inserem a uma certa distância da articulação (eixo), eles criam um torque ou momento de força que causa a rotação dos segmentos.
- ❑ **Tecidos Moles:** A tensão em ligamentos e fâscias também pode contribuir para o movimento ou para a sua travagem.

### **Forças Externas (A Interação com o Meio)**

O movimento humano não aconteceria sem a interação com forças fora do corpo. De acordo com a **3ª Lei de Newton (Ação-Reação)**, para nos movermos, temos de aplicar força contra algo que nos devolva essa força.

- ❑ **Força de Gravidade:** Atua permanentemente sobre o Centro de Gravidade (CG). Pode ser uma causa de movimento (na descida de um agachamento) ou uma resistência a vencer (na subida).
- ❑ **Força de Reação do Solo (GRF):** É a força mais importante para a locomoção. Quando empurras o chão para baixo e para trás, o chão empurra-te para cima e para a frente.
- ❑ **Atrito (Fricção):** Sem o atrito entre os pés e o solo, não haveria tração para iniciar o movimento (ex: tentar correr no gelo).
- ❑ **Resistência de Fluidos:** Em modalidades como natação ou ciclismo, a resistência da água ou do ar é uma força externa crítica que influencia o movimento.

## A Relação Causa-Efeito (Dinâmica)

A integração destas causas (forças internas e externas) segue os princípios fundamentais da mecânica:

- Inércia:** O corpo permanece em repouso até que uma força interna supere a sua massa.
- Aceleração:** A mudança de velocidade do movimento é proporcional à força resultante aplicada (Soma das Forças Internas e Externas).
- Momento e Binário:** Quando estas forças não passam pelo centro das articulações, geram rotação (como discutido no caso do binário de forças no joelho durante o agachamento no artigo de Schoenfeld).

## Estrutura Biomecânica: Módulo 4

### BIOMECÂNICA (Estudo do Movimento Humano)

1. **ESTÁTICA** (Corpos em repouso ou velocidade constante)
  - a) *Equilíbrio:* Estável, Instável e Hiperestável.
  - b) *Fatores:* Altura do CG, Base de Suporte, Massa e Linha de Gravidade.
2. **DINÂMICA** (Corpos em aceleração)
  - a) **CINEMÁTICA** (Descrição do Movimento)
    - Variáveis:* Tempo, Espaço, Velocidade, Aceleração.
    - Tipos:* Linear, Angular e Geral.
  - b) **CINÉTICA** (Causas do Movimento)
    - Forças Externas:* Gravidade, Reação do Solo (GRF), Atrito.
    - Forças Internas:* Contração Muscular (Torque/Momento).
    - Trabalho Mecânico:* Positivo (Concêntrico) e Negativo (Excêntrico).
    - Sistemas de Forças:* Binário (Par de forças estabilizadoras).

# MECÂNICA

Mecânica dos  
Corpos Rígidos

Mecânica dos  
Corpos  
Deformáveis

Mecânica dos  
Fluidos

Mecânica  
Relativista

Mecânica  
Quântica

Ramos da Mecânica  
dos Corpos Rígidos.

Estática

Dinâmica

Equilíbrio

Fatores

Cinemática

Cinética

Estável

Instável

Neutro

Altura do CG

Base de Suporte

Massa

Linha de Gravidade

Apenas descreve o  
movimento:  
↓  
Posição, Tempo,  
Velocidade

Estuda as causas  
(forças)

Forças  
Externas

Forças  
Internas

Linear

Ângular

Trabalho,  
Potência e  
Energia

Torque,  
momento e  
inércia

Explicam como as forças alteram o estado de movimento de um corpo (tirando-o do repouso ou mudando a sua velocidade). Elas são a base da Dinâmica

3ª Lei de Newton

Ação - Reação

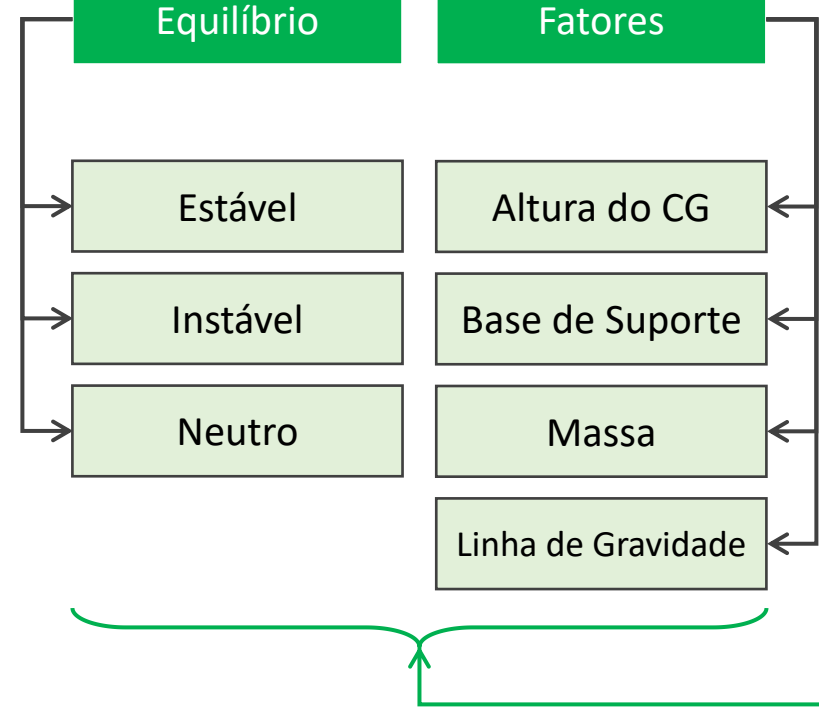
2ª Lei de Newton

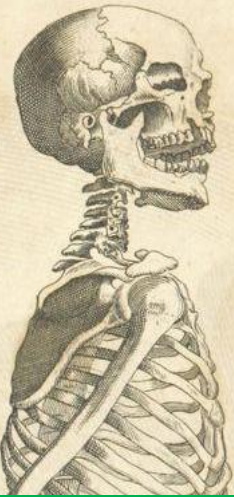
$F = m \times a$

1ª Lei de Newton

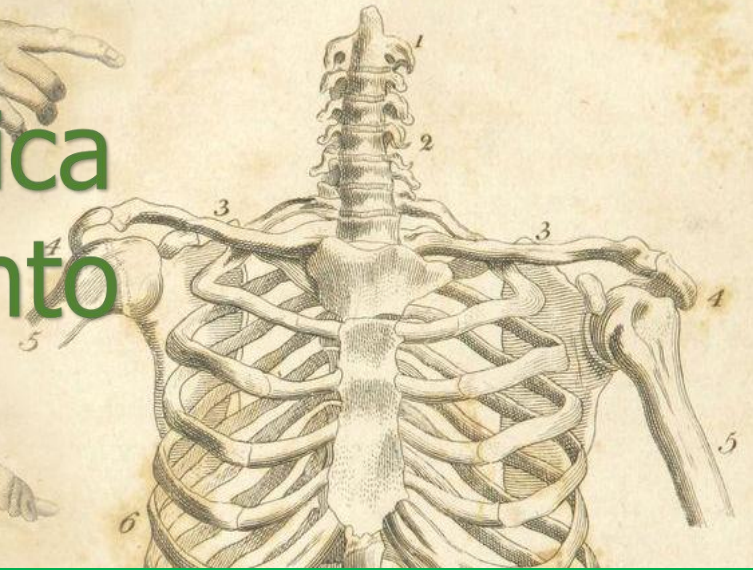
Lei da Inércia

É o fundamento  
da Estática.

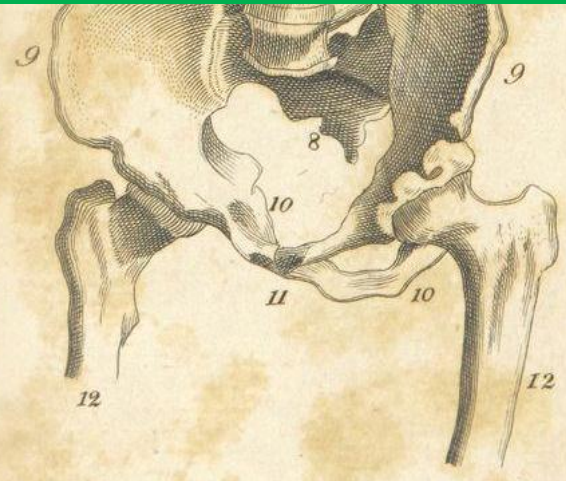
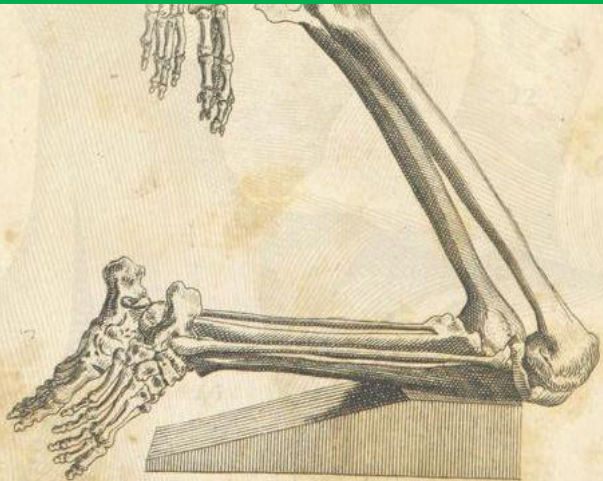


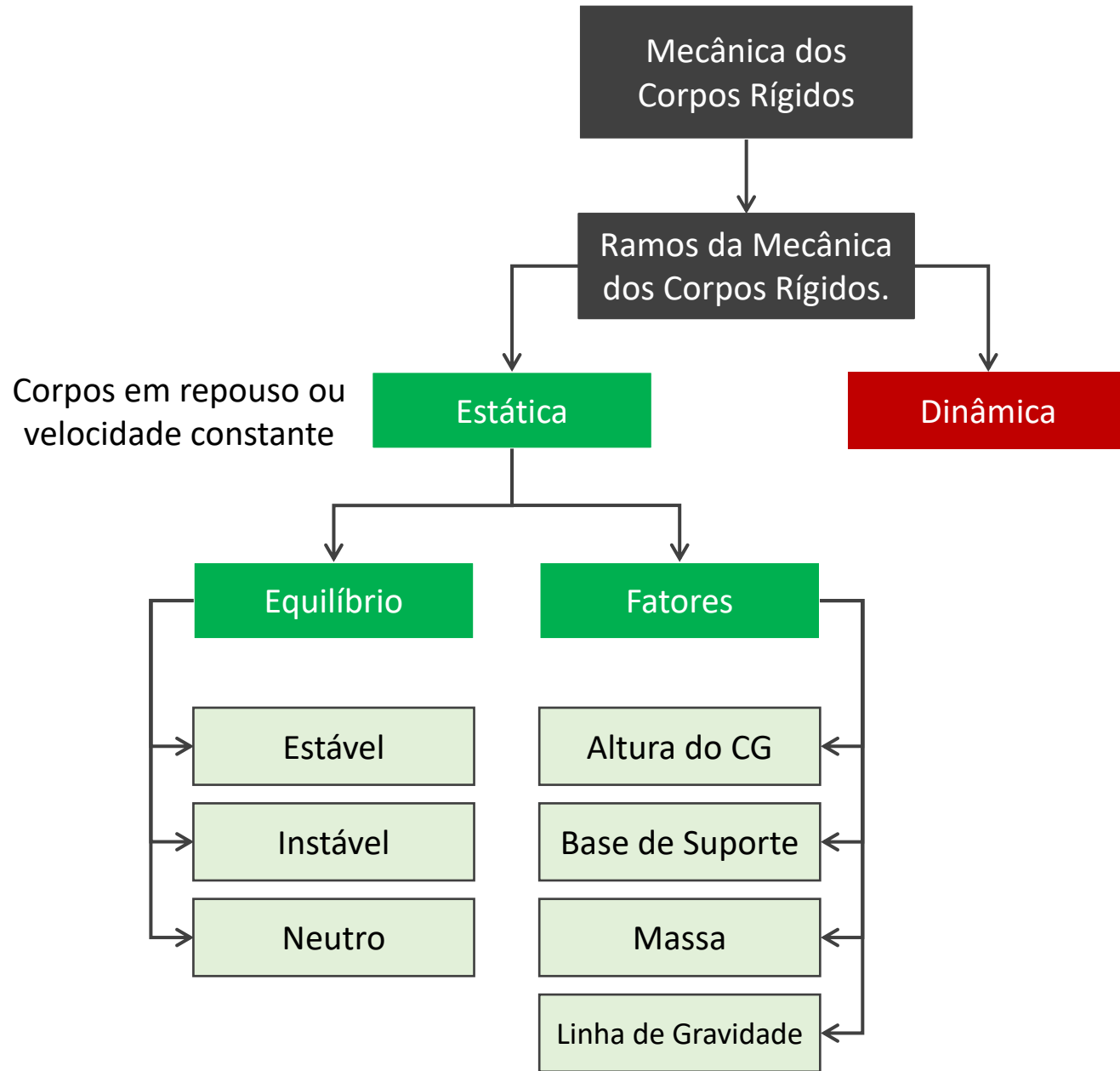


Fundamentos de Mecânica  
para análise do Movimento



# 1. ESTÁTICA



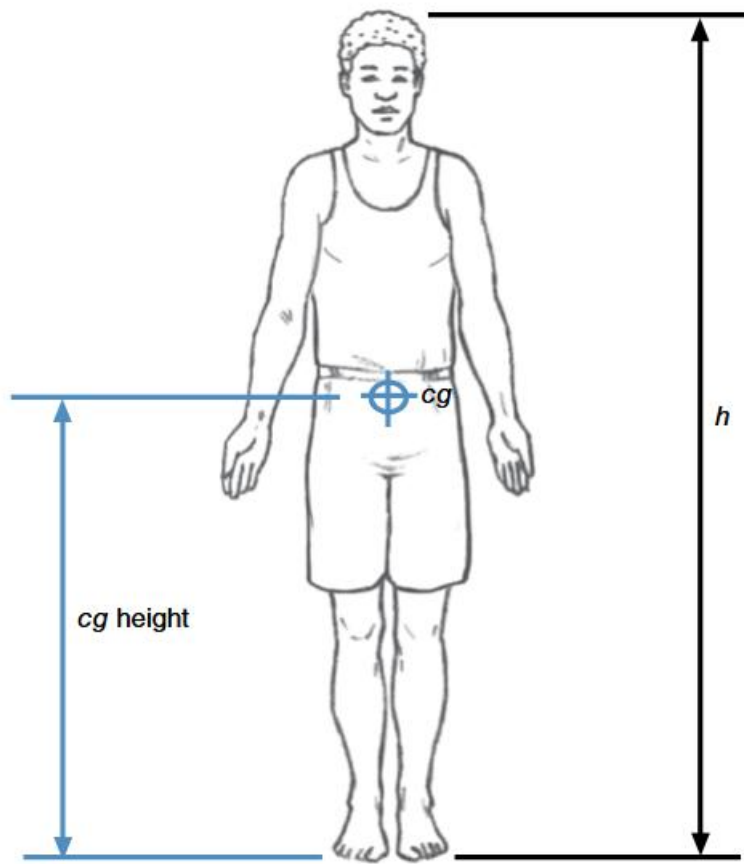


# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Corpos em repouso ou velocidade constante.

**Equilíbrio:** Estável, Instável e Hiperestável.

**Fatores:** Altura do CG, Base de Suporte, Massa e  
Linha de Gravidade.



Na posição anatômica, a altura do seu centro de gravidade é de 55% a 57% da sua altura em pé.

De acordo com o documento "**Biomechanics of Sport and Exercise**" de Peter McGinnis, as definições são as seguintes:

### **Centro de Gravidade (CG)**

- Definição:** É o ponto num corpo ou sistema em torno do qual a sua massa ou peso está uniformemente distribuída ou equilibrada, e através do qual a força da gravidade atua.
- Ponto de Equilíbrio:** É considerado o "ponto de equilíbrio" de um objeto. Se um objeto for apoiado exatamente sob o seu CG, ele permanecerá equilibrado.
- Concentração de Peso:** É o ponto imaginário onde todo o peso do corpo pode ser considerado como concentrado para fins de análise biomecânica.

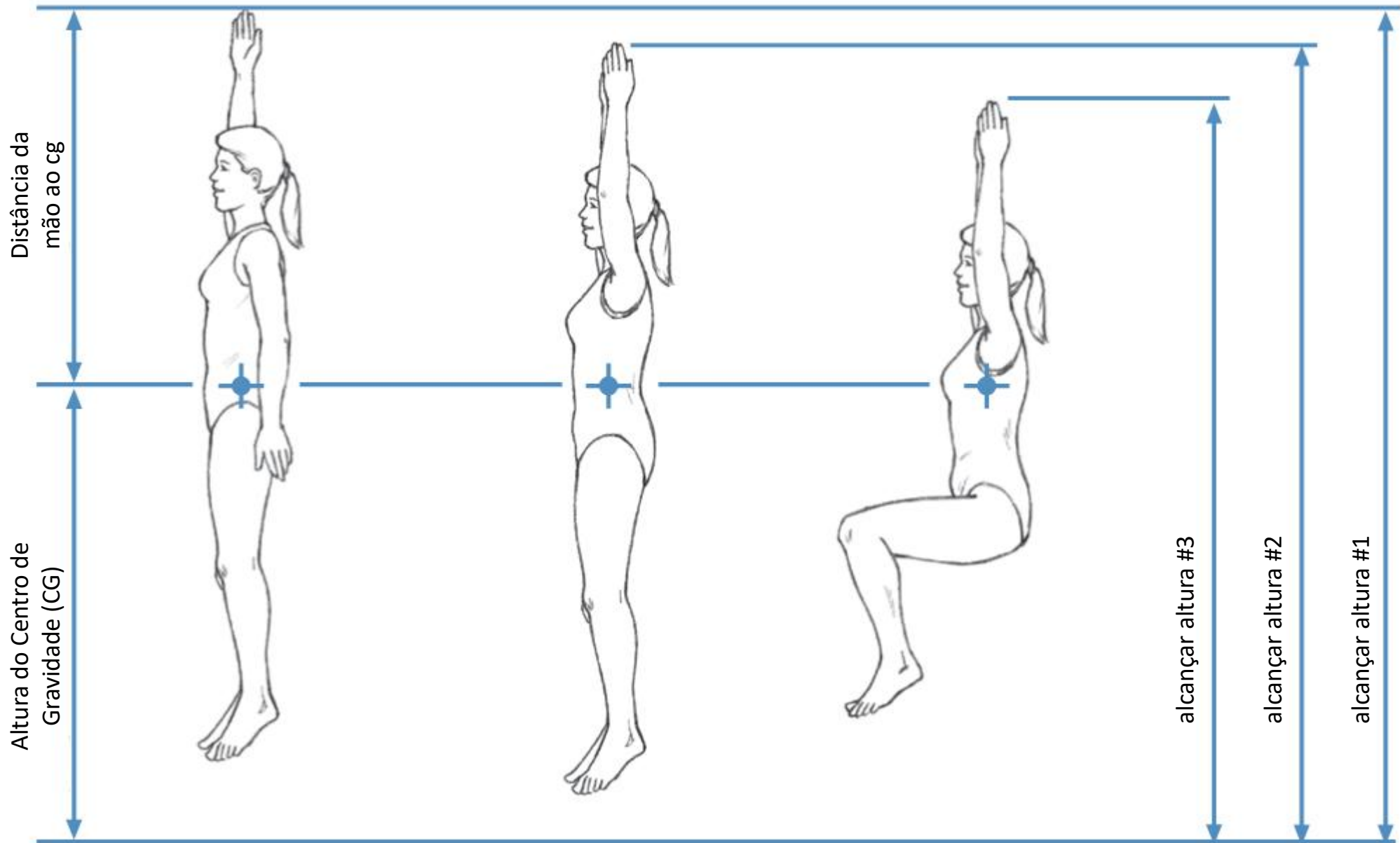
## Centro de Massa

- ❑ **Definição:** É o ponto num corpo (ou sistema de corpos) no qual, para certos propósitos, toda a massa pode ser assumida como estando concentrada.
- ❑ **Relação com o CG:** Para corpos próximos da Terra, o centro de massa coincide com o centro de gravidade.
- ❑ **Uso Intermutável:** O autor refere que, uma vez que as atividades de movimento humano ocorrem na ou perto da Terra, os termos "centro de gravidade" e "centro de massa" são equivalentes e podem ser usados de forma intermutável.

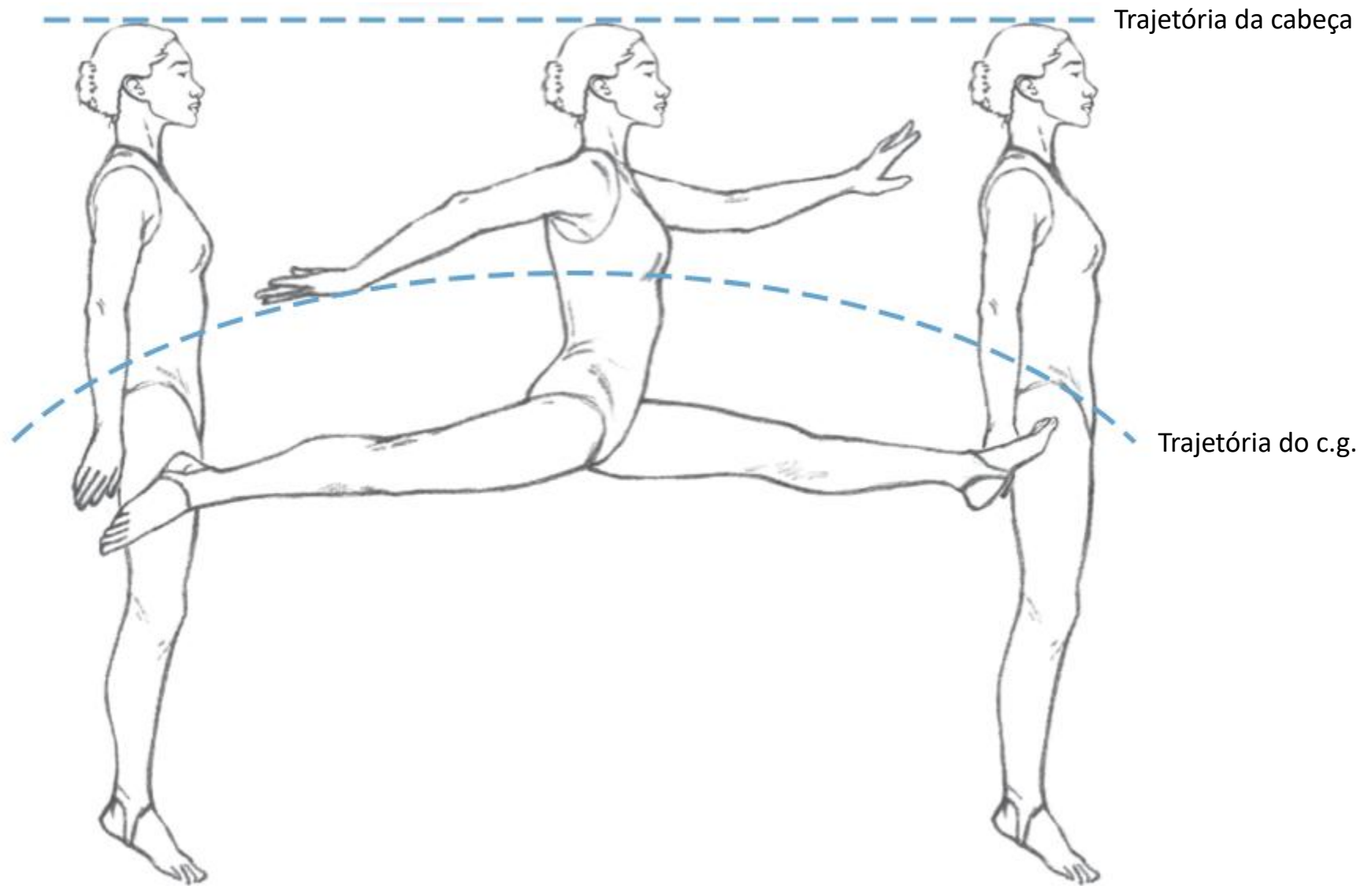
## Importância na Análise do Movimento

O documento destaca que o CG é um conceito crucial porque:

- ❑ Se uma força externa líquida atua sobre um corpo, a **aceleração** causada por essa força é a aceleração do centro de gravidade.
- ❑ As **Leis de Newton** regem especificamente o movimento do centro de gravidade de um corpo.
- ❑ A localização do CG pode mudar dependendo da posição dos membros do corpo (por exemplo, levantar os braços move o CG ligeiramente para cima).



Três técnicas diferentes de salto vertical resultam em três alturas de alcance diferentes, mas a altura do centro de gravidade (CG) acima do solo pode ser semelhante.



Durante um salto, a cabeça do saltador permanece ao mesmo nível, mas o centro de gravidade descreve uma trajetória parabólica.

## Estabilidade

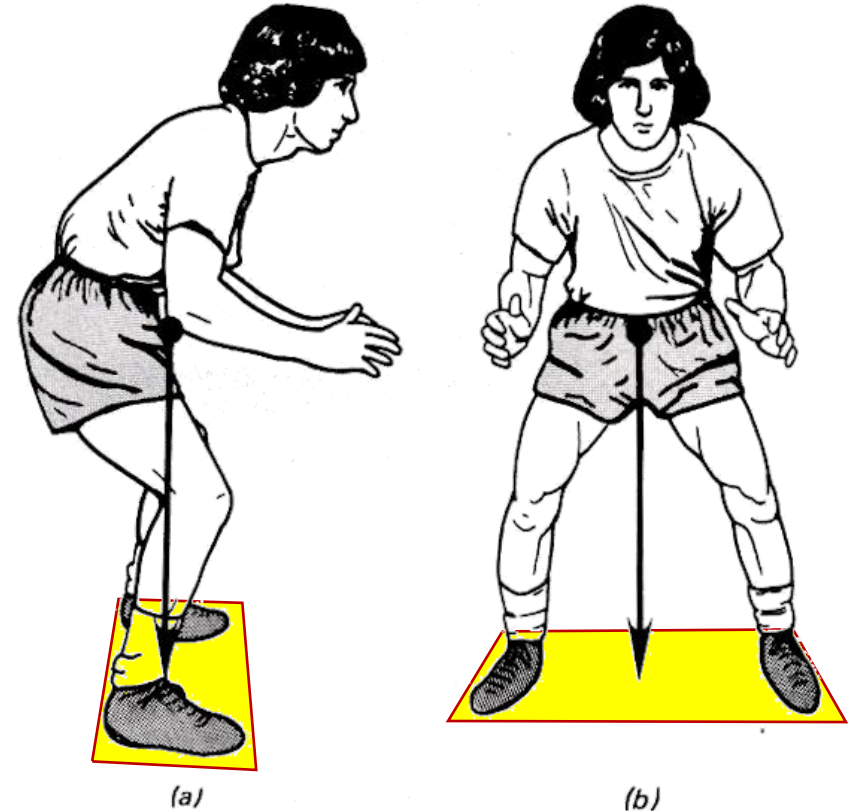
- Equilíbrio Estável.
- Equilíbrio Instável.
- Equilíbrio Neutro.

Com base nos conceitos de biomecânica (Hay & Reid), a estabilidade de um corpo é determinada pela sua capacidade de regressar à posição original após sofrer uma perturbação. No sistema músculo-esquelético, estas diferenças dependem da relação entre o Centro de Gravidade (CG) e a Base de Suporte.

### Equilíbrio Estável

Ocorre quando o corpo está numa posição em que qualquer deslocamento fará com que o Centro de Gravidade suba.

- Mecânica: A força da gravidade cria um momento de força que tende a "puxar" o corpo de volta à posição inicial.
- No Corpo Humano:** Um atleta em posição de agachamento profundo ou com os pés bem afastados. Para o "derrubar", é necessária uma força externa muito grande, pois a base é larga e o CG está baixo.



A distância da linha de gravidade do limite da base é menor na (a) direção antero-posterior do que na (b) direção lateral.

## Equilíbrio Instável

Ocorre quando um pequeno deslocamento faz com que o **Centro de Gravidade baixe** imediatamente.

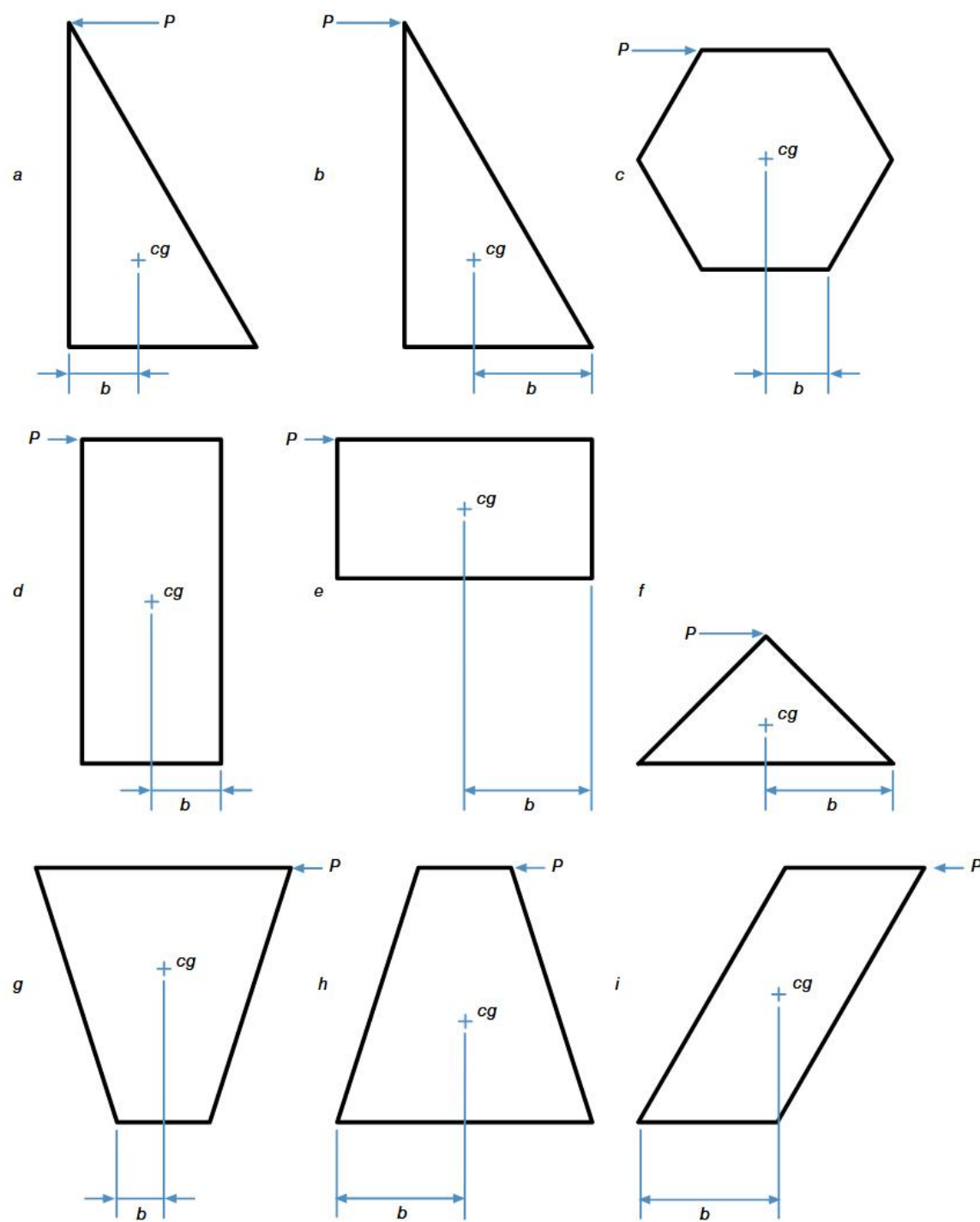
- ❑ **Mecânica:** Assim que o corpo sai da vertical, a linha de gravidade cai fora da (pequena) base de suporte, e o peso do corpo cria um **momento desestabilizador** que acentua a queda.
- ❑ **No Corpo Humano:** Um ginasta no pino (apoio facial invertido) ou o momento exato em que um saltador em altura está no topo da impulsão. Aqui, os músculos têm de realizar ajustes constantes (contrações rápidas) para manter o CG alinhado sobre a base mínima.

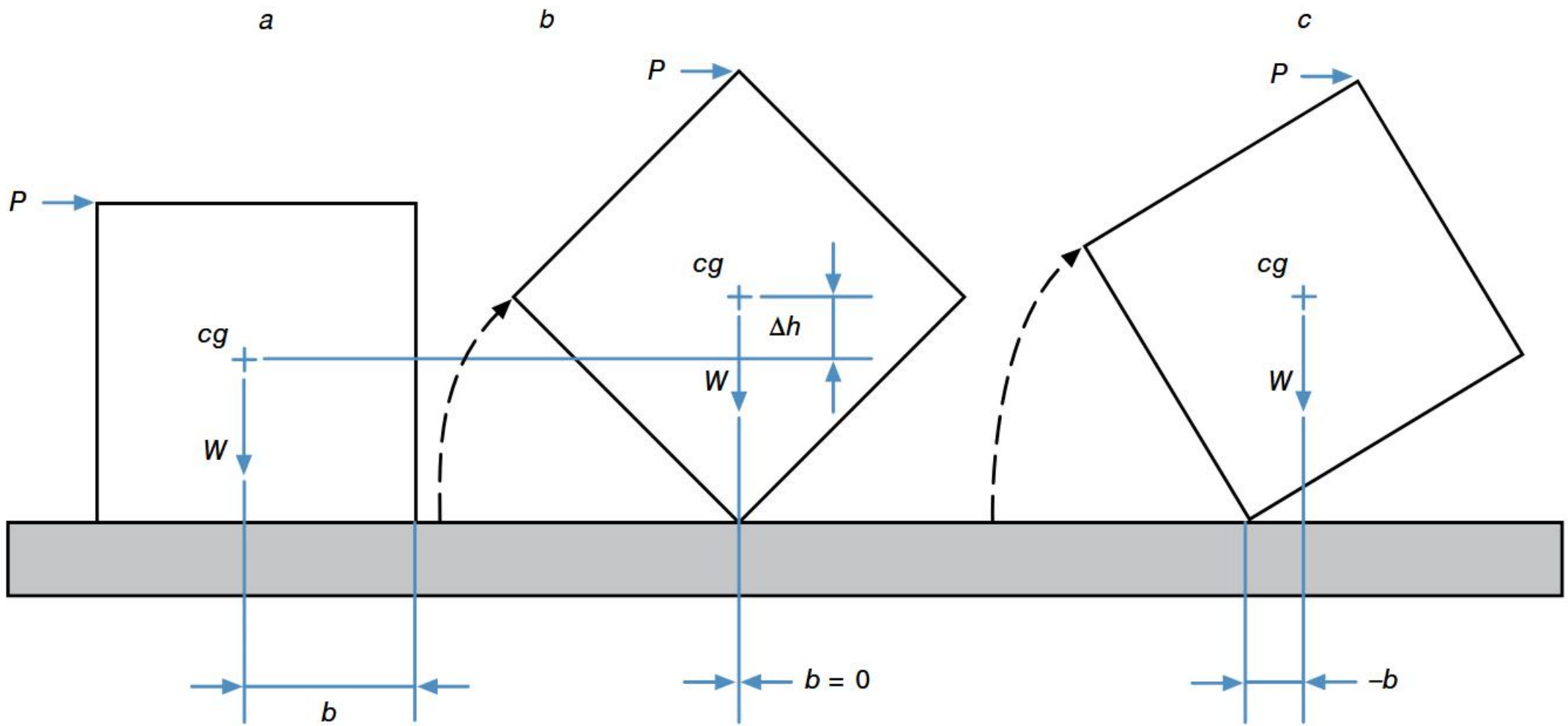
## Equilíbrio Neutro

Ocorre quando o **Centro de Gravidade permanece à mesma altura**, independentemente da posição do corpo.

- ❑ **Mecânica:** Não existe um momento de força gerado pela gravidade para restaurar ou para destruir a posição; o corpo simplesmente assume uma nova posição de equilíbrio.
- ❑ **No Corpo Humano:** É difícil de observar de forma pura no corpo total (devido às articulações), mas o exemplo clássico é uma pessoa numa cadeira de rodas a deslocar-se numa superfície plana, ou uma bola a rolar. O CG não sobe nem desce em relação ao plano de apoio.

A estabilidade é afetada pelo braço de alavanca ( $b$ ) do peso de um objeto em torno do bordo da base de apoio para a qual a força de tombamento / capotagem / queda ( $P$ ) empurra ou puxa.



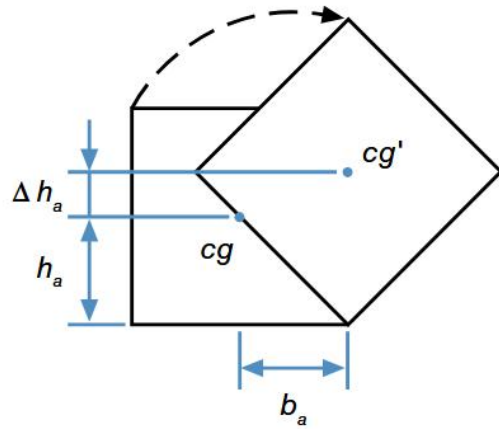


Quando um objeto é tombado, o centro de gravidade sofre uma elevação e o momento de reposição do peso diminui. Em (a), o peso cria um momento de restauração ( $W \times b$ ); em (b), o peso não cria qualquer momento ( $W \times 0$ ); e em (c), o peso cria um momento de tombamento [ $W \times (-b)$ ].

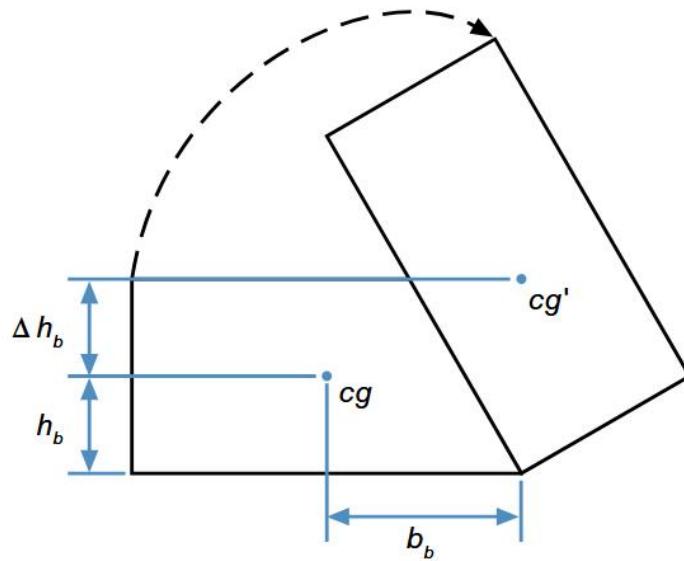
$$h_a = h_b$$

$$b_a < b_b$$

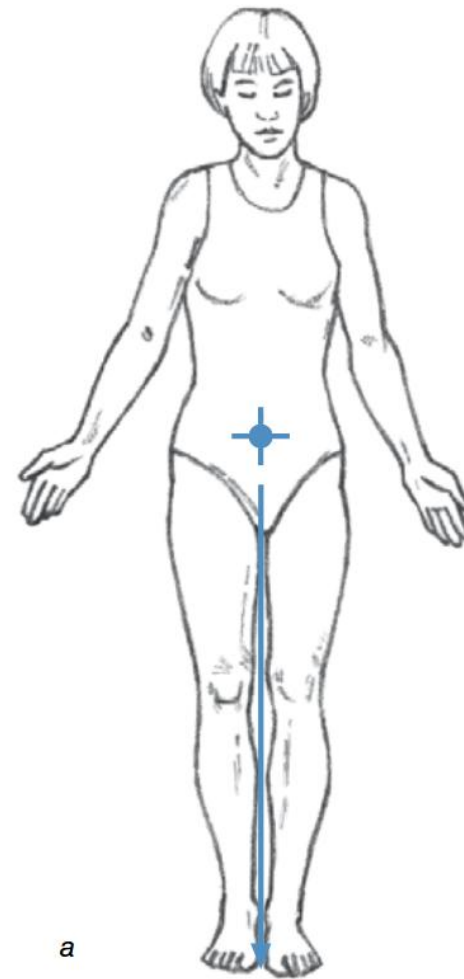
$$\Delta h_a < \Delta h_b$$



a Base estreita



b Base larga

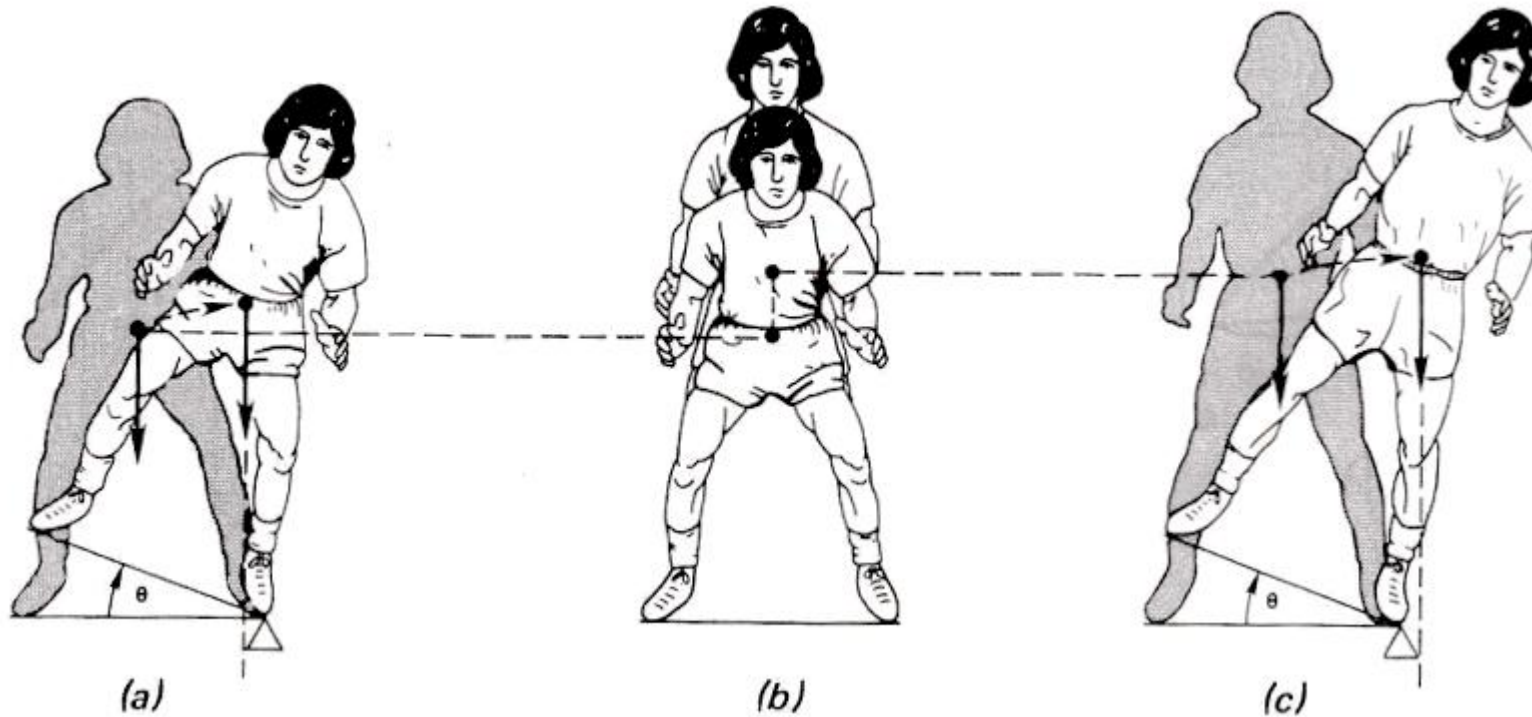


a



b

Quanto maior for o braço de alavanca do peso, maior será o deslocamento vertical do centro de gravidade,  $\Delta h$ , antes de ocorrer o tombamento.



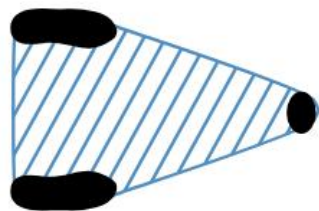
Quando todos os **outros fatores** forem iguais, quanto mais alto estiver o centro de gravidade menos estável será o equilíbrio.

**Fatores de Equilíbrio:**

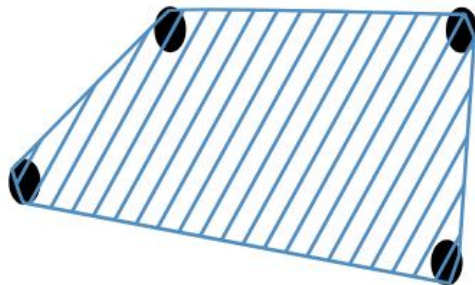
- Tamanho da base de sustentação (suporte)
- Localização da linha de gravidade em relação à base de sustentação.
- Massa do Corpo (Inércia)

A **estabilidade** é a capacidade de um objeto de regressar ao equilíbrio ou à sua posição original após ter sido deslocado.

*a*



*b*

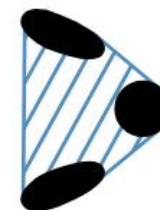


Equilíbrio Instável.

*c*



*d*



Diferentes posturas e as suas respetivas bases de apoio.

Aqui estão os "outros fatores" que devem ser mantidos iguais para que essa afirmação seja válida:

### 1. Tamanho da Base de Suporte

Este é o fator mais óbvio. A estabilidade aumenta proporcionalmente à área da base de suporte.

- ❑ **Mecânica:** Quanto maior a base, maior é a distância que o CG tem de percorrer horizontalmente antes que a linha de gravidade caia fora dos limites da base.
- ❑ **Exemplo:** No Judo, afastar os pés lateralmente aumenta a estabilidade contra forças laterais.

### 2. Altura do Centro de Gravidade

Quanto mais baixo estiver o CG (ex: fletir os joelhos), mais estável está o corpo.

### 3. Localização da Linha de Gravidade em relação à Base

Não basta ter uma base grande; importa onde o CG está projetado nela.

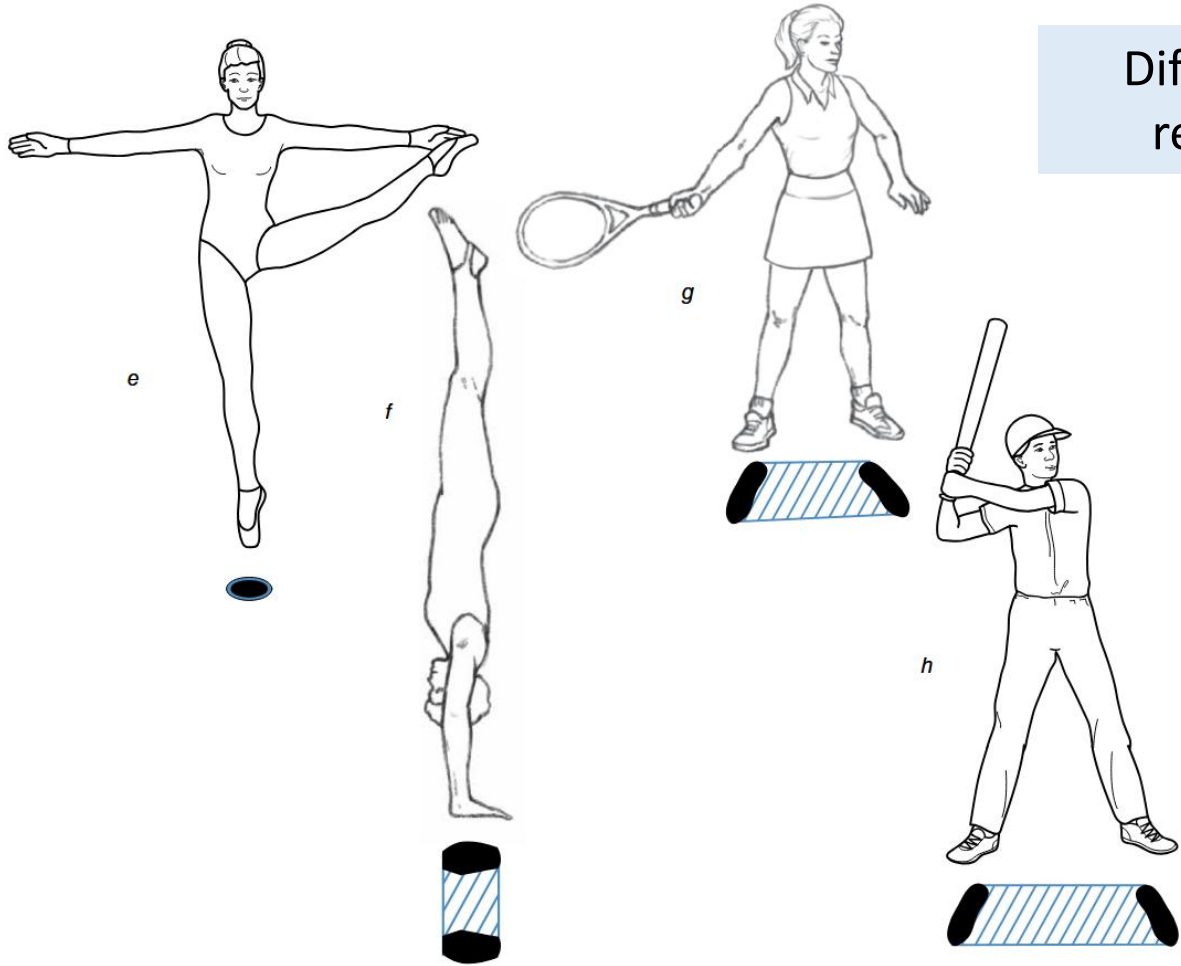
- ❑ **Mecânica:** A estabilidade é maior quando a linha de gravidade cai exatamente no centro da base de suporte.
- ❑ **Ressalva:** Se soubermos de que direção vem a força externa (ex: um empurrão), a estabilidade aumenta se deslocarmos o CG para o bordo da base mais próximo da força que se aproxima.

### 4. Massa do Corpo (Inércia)

A massa é um fator fundamental de resistência à mudança de estado.

- ❑ **Mecânica:** Pela Segunda Lei de Newton ( $F=ma$ ), quanto maior a massa ( $m$ ) do atleta, maior terá de ser a força externa ( $F$ ) para gerar uma aceleração que rompa o equilíbrio.
- ❑ **Exemplo:** Um jogador de linha no Futebol Americano ou um lutador de Sumo são extremamente estáveis não só pela técnica, mas pela sua elevada massa inercial.

Diferentes posturas e as suas respectivas bases de apoio.



Equilíbrio Estável.

### Análise do Equilíbrio Neutro (Linha 3)

- ❑ **Movimento do CG (Mantém-se):** Esta é a chave técnica. No deslize linear da **patinagem** (num plano perfeitamente liso), o patinador desloca-se horizontalmente sem que o seu Centro de Gravidade suba ou desça.
- ❑ **Resistência a Forças Externas (Nula):** Como o CG não precisa de ser "elevado" para o corpo sair da posição (como no estável) nem "cai" naturalmente (como no instável), qualquer pequena força resultante apenas desloca o sistema para uma nova posição de repouso ou movimento constante.

Tipo de Equilíbrio	Movimento do CG	Exemplo Desportivo	Resistência a Forças Externas
<b>Estável</b>	Sobe	Defesa no Judo (pernas fletidas)	Alta
<b>Instável</b>	Desce	Início da corrida (bloco de partida)	Baixa (facilita o movimento)
<b>Neutro</b>	Mantém-se	Patinagem (deslize linear plano)	Nula

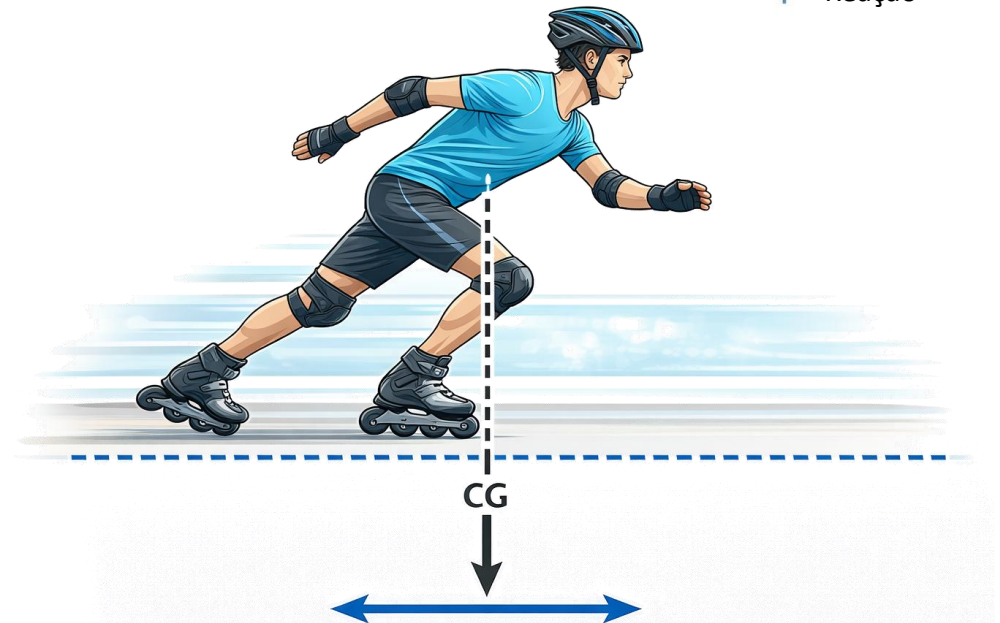
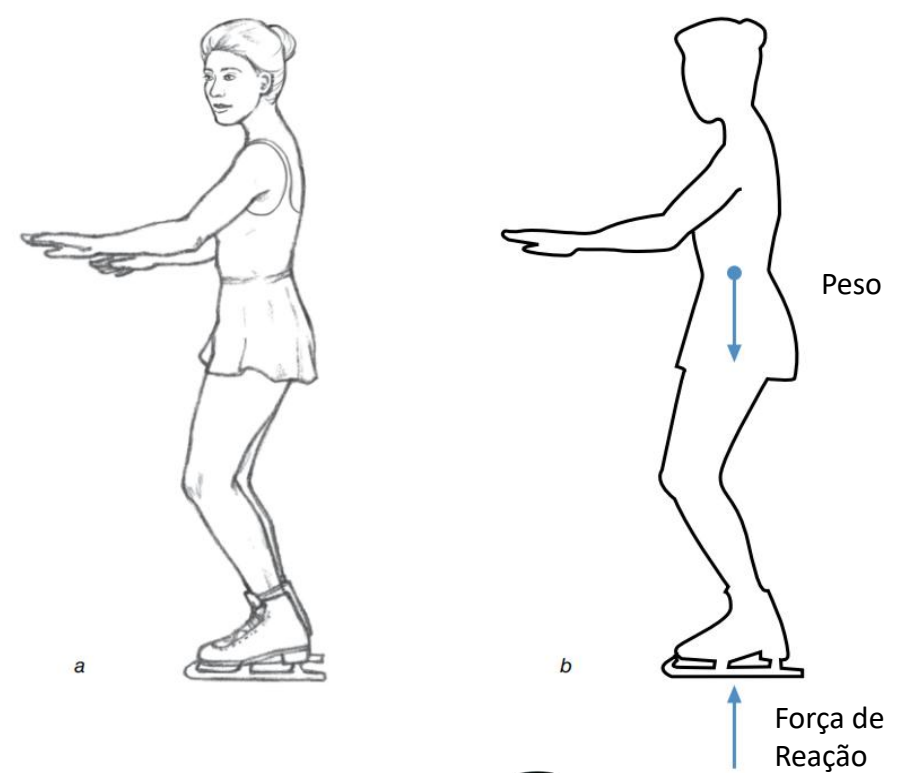
Se um objeto não se está a mover, está em equilíbrio estático. Em equilíbrio estático, a aceleração é nula e a soma de todas as forças externas que atuam sobre o objeto é nula. Matematicamente, a situação pode ser descrita por uma equação:

$$\sum F = 0$$

O termo  $\sum F$  representa a força externa resultante (a resultante das forças externas) ou a soma vetorial das forças externas.

## Análise do Equilíbrio Neutro

- ❑ **Movimento do CG (Mantém-se):** Esta é a chave técnica. No deslize linear da **patinagem** (num plano perfeitamente liso), o patinador desloca-se horizontalmente sem que o seu Centro de Gravidade suba ou desça.
- ❑ **Resistência a Forças Externas (Nula):** Como o CG não precisa de ser "elevado" para o corpo sair da posição (como no estável) nem "cai" naturalmente (como no instável), qualquer pequena força resultante apenas desloca o sistema para uma nova posição de repouso ou movimento constante.





a



b



A postura defensiva de um lutador maximiza a sua estabilidade, minimizando a altura do seu centro de gravidade e maximizando a sua base de apoio.



Uma postura *escalonada* proporciona estabilidade direcional para a receção.

Duas posições de luta, quadrada (a) e *escalonada* (b), que representam compromissos entre estabilidade e mobilidade.

**Escalonada - apoio antero-posterior:** Os pés estão afastados, pelo menos à largura das ancas, e os dedos de um pé estão alinhados atrás do calcanhar do outro pé.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Aplicar os conceitos de centro de gravidade, corpos articulados e corpo rígido ao sistema músculo-esquelético.

Para aplicar os conceitos de **corpo rígido**, **corpo articulado** e **centro de gravidade** ao sistema músculo-esquelético, baseamo-nos na Parte II do documento (*Conceitos Mecânicos Básicos*), que estabelece como simplificamos o corpo humano para o analisar matematicamente.

## O Corpo Rígido

Na mecânica clássica, um corpo rígido é aquele cujas partes mantêm uma distância fixa entre si, independentemente das forças aplicadas.

- ❑ **Aplicação ao Sistema:** Embora o corpo humano seja deformável, para fins de análise biomecânica, tratamos cada segmento ósseo (como o fêmur ou o úmero) como um corpo rígido.
- ❑ **Porquê?** Isto permite-nos assumir que a massa desse segmento não muda de forma durante o movimento, facilitando o cálculo da sua aceleração e trajetória.

## Corpos Articulados

O sistema músculo-esquelético é definido no documento como um sistema de **corpos articulados**.

- ❑ **Conceito:** É uma série de corpos rígidos (ossos) unidos por articulações que permitem o movimento angular entre eles.
- ❑ **Dinâmica:** O movimento de um segmento (ex: antebraço) afeta o equilíbrio e o movimento dos outros segmentos ligados a ele. Quando um atleta salta, o movimento coordenado de vários "corpos rígidos" articulados resulta no movimento do corpo na totalidade.

## Centro de Gravidade (CG)

O Centro de Gravidade é o ponto onde se considera que toda a massa do corpo está concentrada e onde a força da gravidade atua.

- **Localização Variável:** Ao contrário de um objeto sólido simples, o CG do corpo humano **muda de posição** conforme movemos os nossos segmentos (corpos articulados).
  - a) Se levantas os braços, o teu CG sobe.
  - b) Se te inclinas para a frente, o teu CG pode inclusive ficar **fora do corpo físico** (comum em saltos de ginástica ou no salto em altura estilo *Fosbury Flop*).
- **Importância na Estabilidade:** no caso da corrida, a relação entre o ponto de contacto (pé) e a projeção do CG determina se uma força será propulsiva ou de travagem.

## Exemplo Prático: A análise da "Ação Faltosa"

O documento utiliza estes conceitos para explicar erros na corrida:

- **Corpo Rígido/Articulado:** A perna é vista como uma série de segmentos que devem atuar em sequência.
- **CG e Estabilidade:** Se o pé (ponto de suporte) toca o solo muito à frente do **Centro de Gravidade**, cria-se um momento de força que tenta "rodar" o corpo para trás.
- **Correção:** O documento recomenda que o corredor "procure o solo" com um movimento para baixo e para trás, alinhando melhor o suporte com o CG para converter a energia em movimento linear eficiente.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Explicar o equilíbrio e a estabilidade com base na análise dos fatores que influenciam o equilíbrio rotacional de um corpo, aplicando esse conhecimento na análise das forças produzidas pelos músculos para estabilizar forças exteriores, demonstrando a influência da força gravítica e de outras forças exteriores.

## Fatores que Influenciam o Equilíbrio e Estabilidade

A estabilidade é a resistência de um corpo à perda de equilíbrio. Segundo os princípios mecânicos, um corpo está em equilíbrio rotacional quando o **momento resultante** de todas as forças que nele atuam é zero.

- ❑ **Localização do Centro de Gravidade:** Quanto mais baixo estiver o CG, mais estável é o corpo (ex: um judoca flexiona os joelhos para baixar o CG e evitar ser projetado).
- ❑ **Base de Suporte:** A área definida pelos pontos de contacto com o solo. O equilíbrio mantém-se enquanto a **linha de gravidade** (projeção vertical do CG) cair dentro da base de suporte.
- ❑ **Massa do Corpo:** Uma maior massa exige um momento de força exterior maior para alterar o estado de equilíbrio.

## Análise das Forças Musculares para Estabilizar Forças Exteriores

O sistema músculo-esquelético atua como um sistema de alavancas para contrariar momentos de força externos (como a gravidade ou a carga de um adversário).

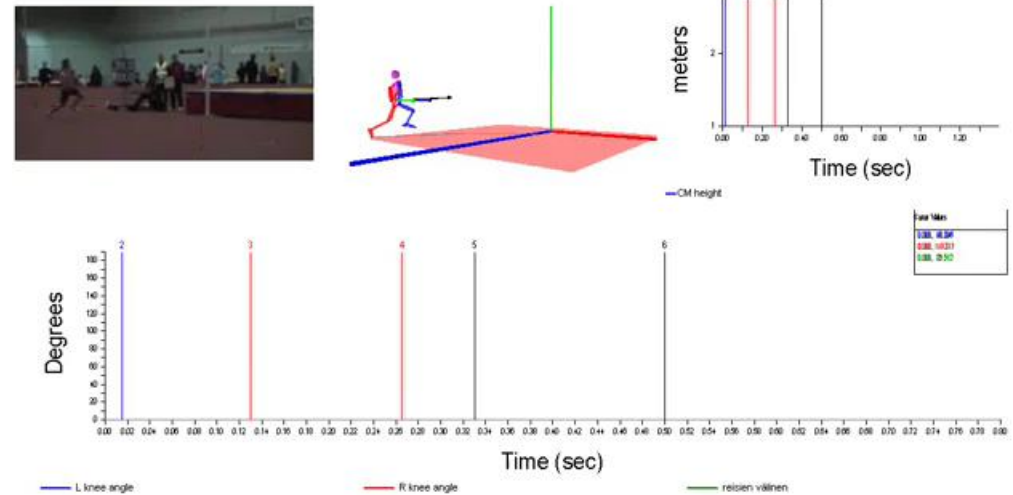
- ❑ **Braço de Momento Muscular:** Para estabilizar uma força exterior, o músculo deve gerar um momento de força igual e oposto. Como os músculos se inserem muito perto das articulações (braço de momento curto), eles precisam de exercer forças internas muito elevadas para equilibrar forças externas que tenham braços de momento longos.
- ❑ **Contração Isométrica:** Ocorre quando o momento gerado pelo músculo é exatamente igual ao momento da força exterior, resultando em estabilidade sem movimento.

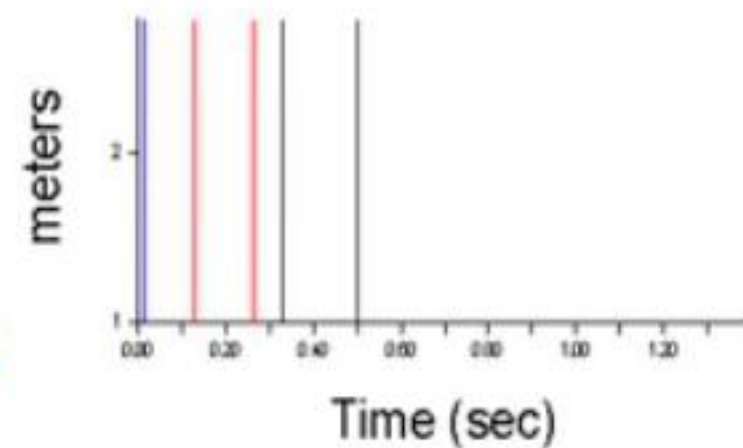
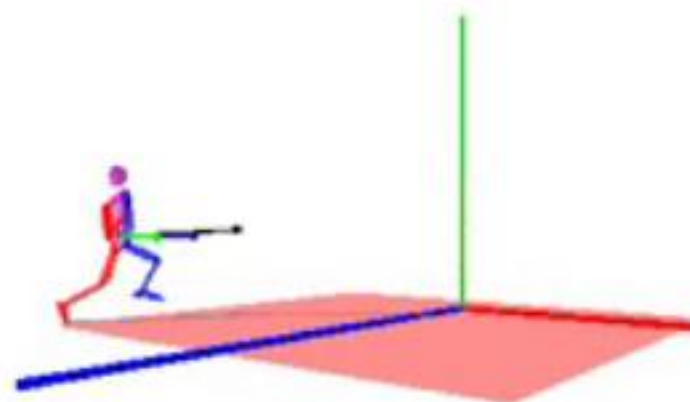
## Influência da Força Gravítica e Forças Exteriores

A gravidade é a força exterior constante que mais desafia o equilíbrio.

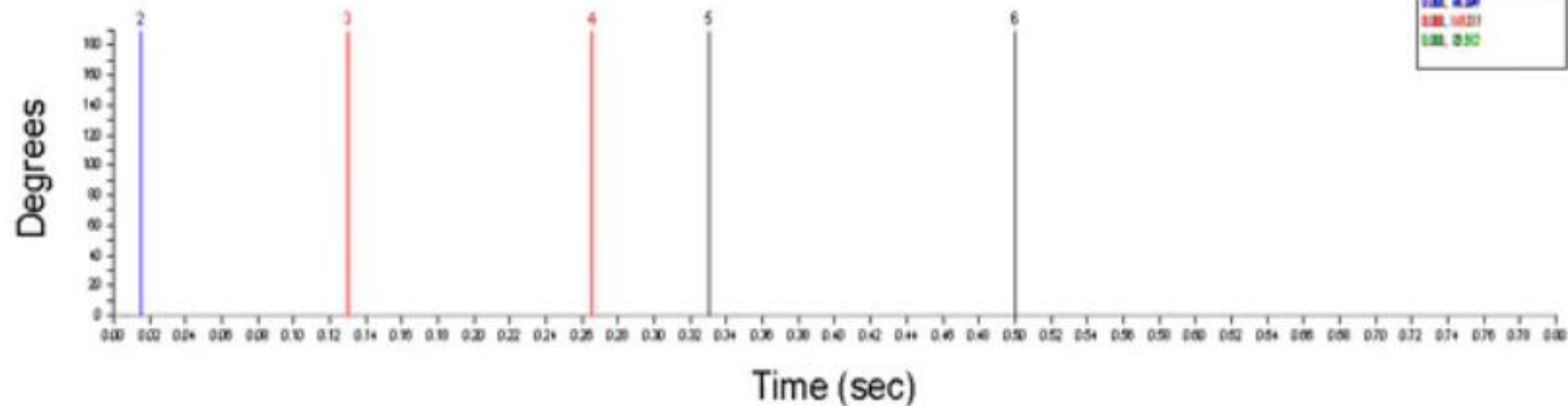
- **Momento “desestabilizador” (instabilidade):** Se a linha de gravidade se desloca para perto do limite da base de suporte, qualquer pequena força exterior cria um momento de força que o corpo pode não conseguir compensar.
- **Exemplo da "Ação Faltosa":** O documento descreve que, se o pé do corredor toca o solo muito à frente do CG, a **Força de Reação do Solo** (exterior) cria um momento de força que tende a "rodar" o tronco para trás.
  - Estabilização:** Os músculos flexores da anca e do tronco têm de realizar um **trabalho** extra para contrariar este momento indesejado, o que causa fadiga precoce e perda de performance.

Jussi Viita, 220, Jyväskylä 08.02.2008





— CM height



— L knee angle

— R knee angle

— reisien välinen

Time (Min)	
0.02	0.50
0.13	0.50
0.26	0.50

## Análise da Pressão

A análise da **pressão** pode e deve ser considerada no âmbito da **Estática**, especialmente quando estudamos o equilíbrio de corpos sólidos em contacto com superfícies ou o equilíbrio de fluídos (hidroestática).

A pressão é a variável que liga a força aplicada à área de suporte.

### Definição Estática de Pressão

Na estática, a pressão (P) é definida como a força normal (F) exercida por unidade de área (A):

$$P = \frac{F}{A}$$

**Relação Inversa:** Para uma mesma força (ex: o teu peso corporal), quanto menor for a área de contacto, maior será a pressão exercida sobre essa superfície.

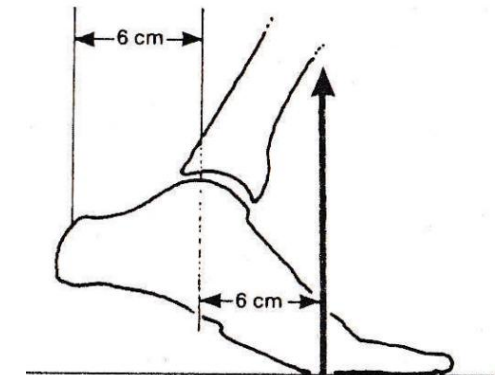
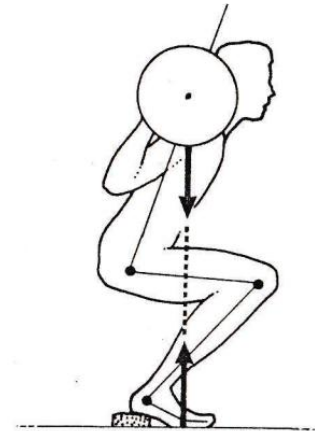
## Aplicação na Estática Biomecânica

Na análise do movimento e da postura, a pressão é crucial em dois pontos:

### A. Pressão Plantar (Base de Suporte)

Quando um atleta está imóvel em posição de agachamento (fase isométrica), analisamos a distribuição da pressão nos pés.

- ❑ **Equilíbrio:** Se a pressão estiver concentrada apenas nos calcanhares ou apenas nas pontas dos pés, a **Linha de Gravidade** está próxima dos limites da **Base de Suporte**, tornando o equilíbrio instável.
- ❑ **Estabilidade:** Uma distribuição uniforme da pressão indica que o Centro de Gravidade está devidamente alinhado sobre o centro da base.



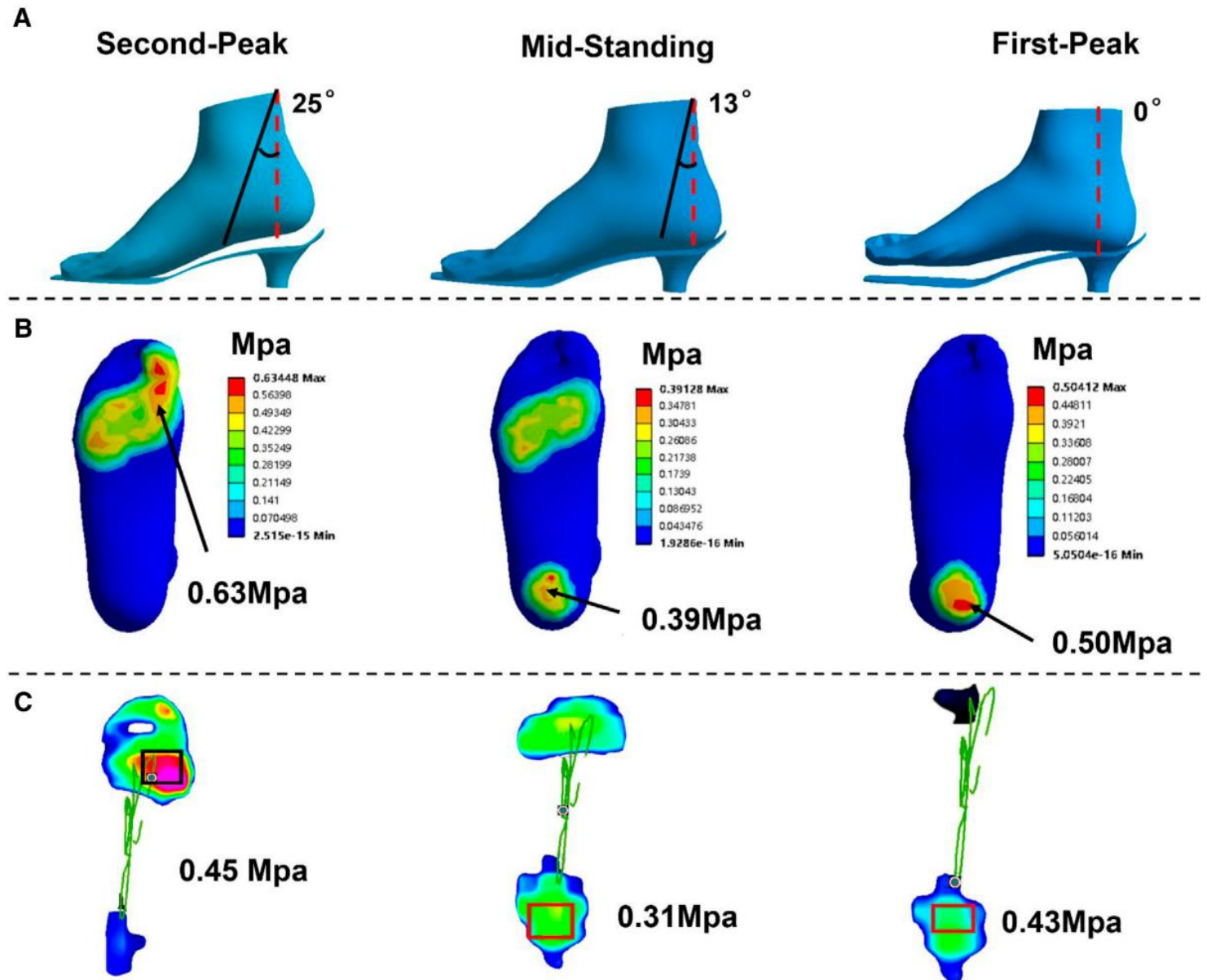
# The Influence of Heel Height on Strain Variation of Plantar Fascia During High Heel Shoes Walking-Combined Musculoskeletal Modeling and Finite Element Analysis

Meizi Wang<sup>1,2</sup>, Shudong Li<sup>2</sup>, Ee-Chon Teo<sup>3\*</sup>, Gusztáv Fekete<sup>4</sup> and Yaodong Gu<sup>1\*</sup>

 **frontiers**  
in Bioengineering and Biotechnology

**ORIGINAL RESEARCH**  
published: 20 December 2021  
doi: 10.3389/fbioe.2021.791238

- A) Diferentes fases de apoio do pé em relação à sola do calçado durante a simulação com um salto de 3 cm.
- (B) Previsão por elementos finitos.
- (C) Pressão de contacto plantar na medição experimental.

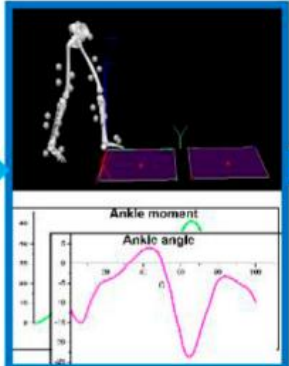


### Motion capture in different heel height

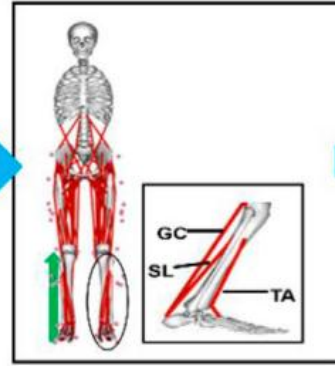


Kinematic and GRF data

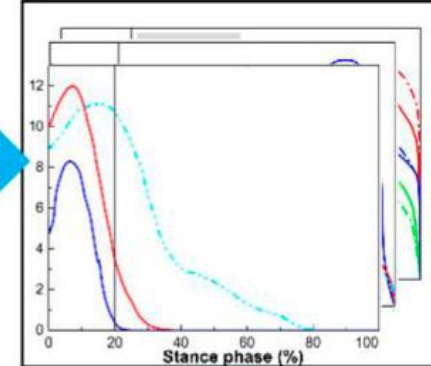
### Inverse kinematic and dynamic in V3D



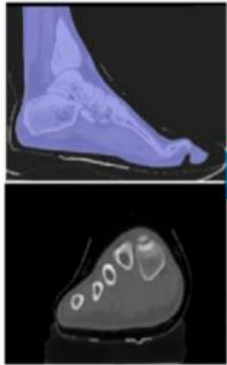
### Musculoskeletal modelling



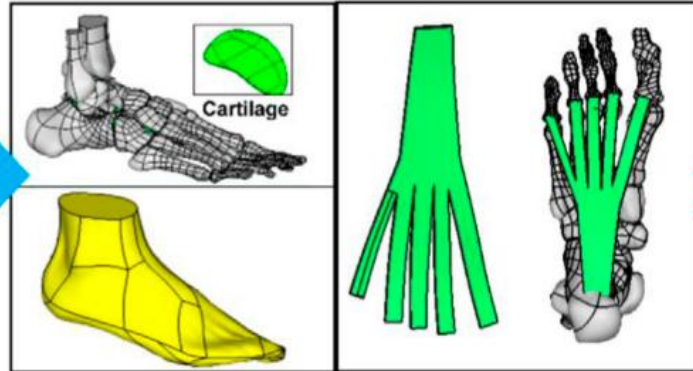
### Muscle forces



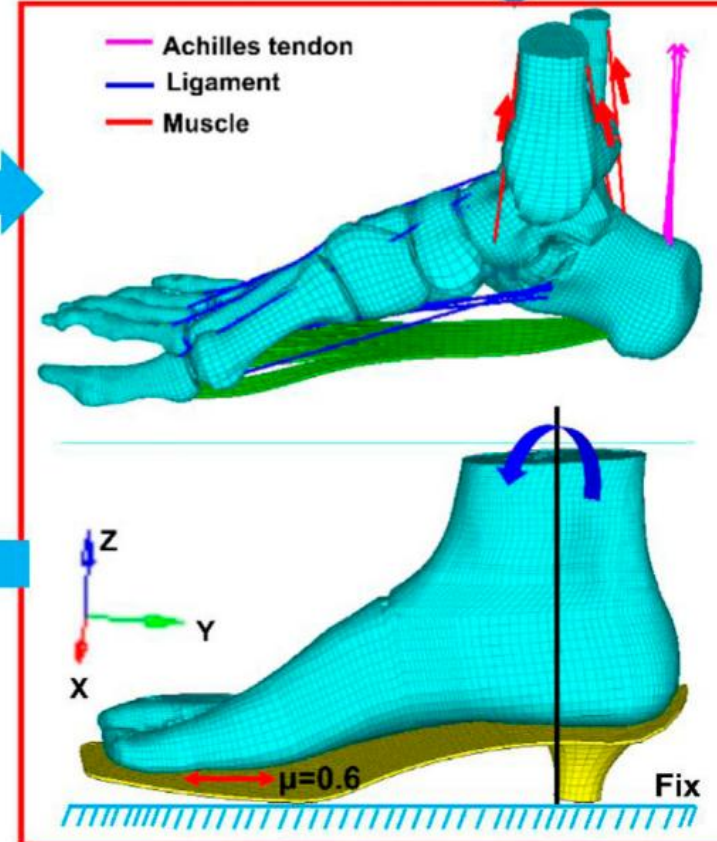
### Foot MRI image



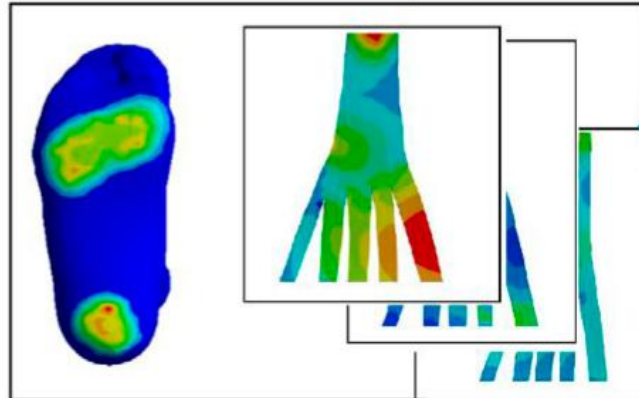
### Soft tissue, bone, cartilage components and 3D plantar fascia

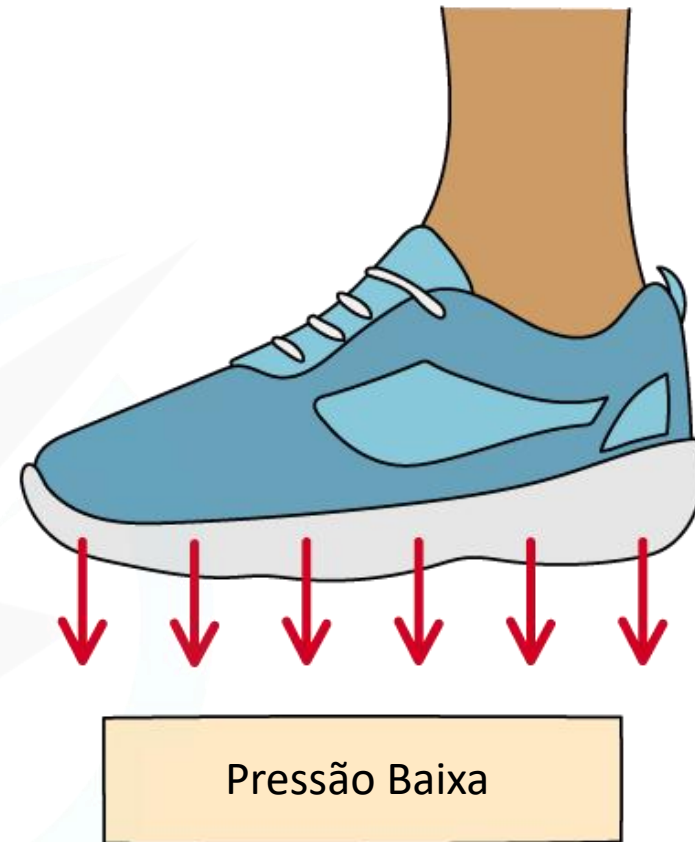
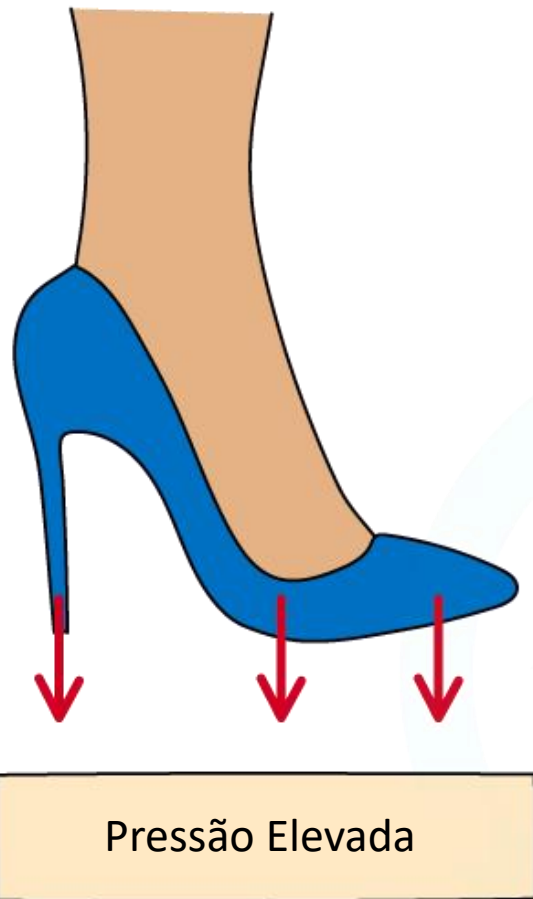


### Finite element model



### Stress in foot and strain in plantar fascia



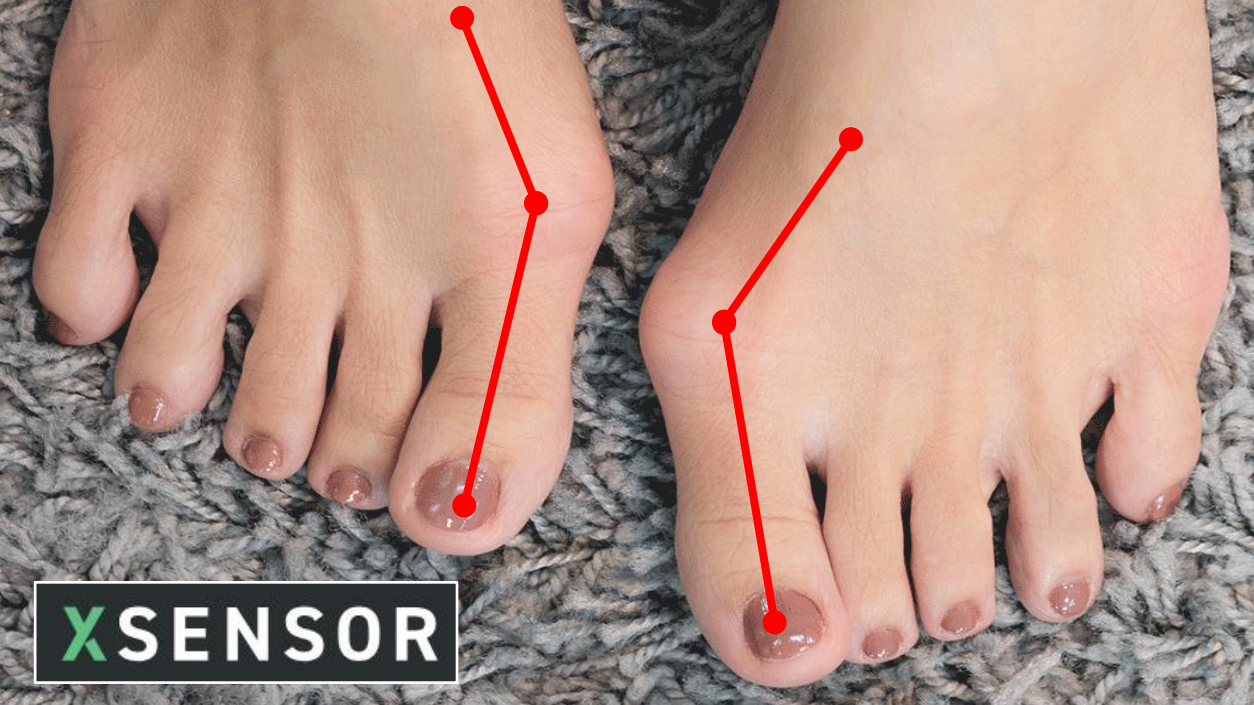


O peso da pessoa distribui-se numa área pequena.

Isto exerce uma pressão mais elevada no chão.

O peso da pessoa que usa uns sapatos planos, distribui-se numa área maior.

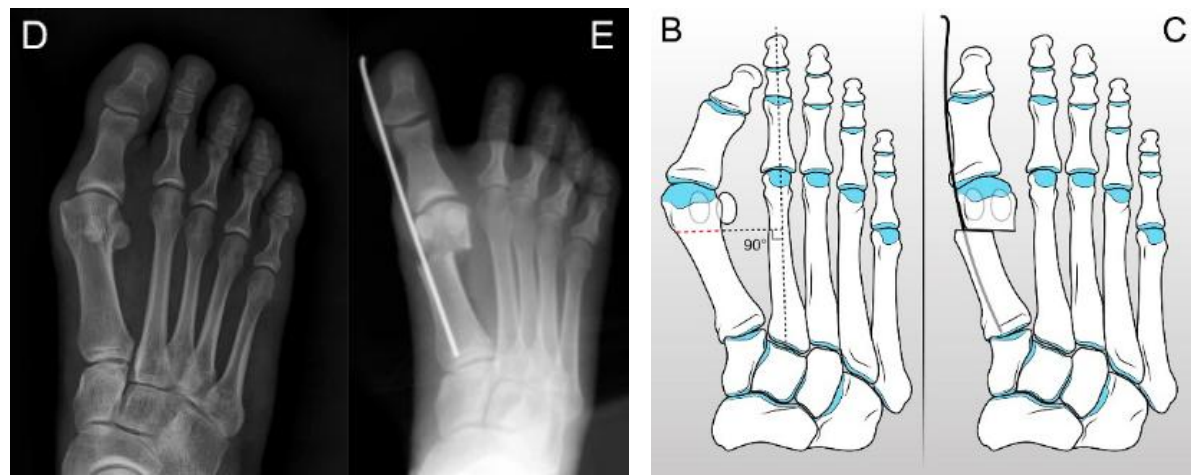
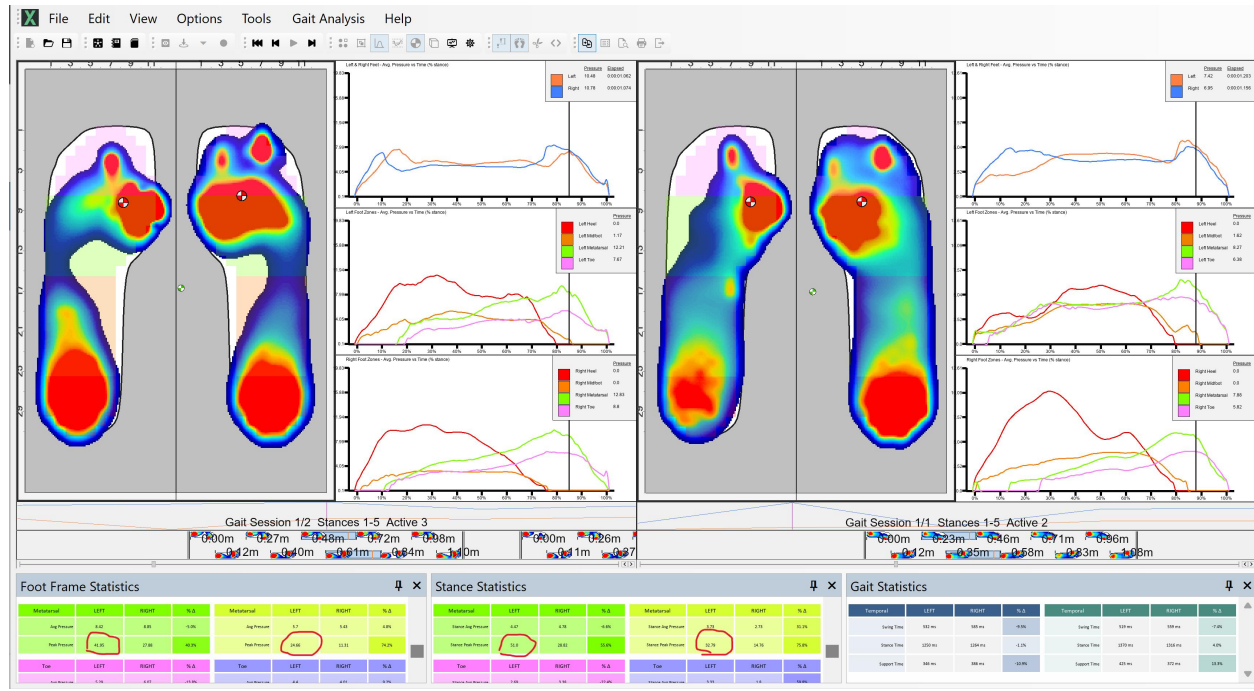
Isto exerce menor pressão no chão.



**XSENSOR**

Article  
**Hallux Valgus Plantar Pressure Distribution before and after a Distal Metatarsal Osteotomy**

Antonio Mazzotti <sup>1,2</sup>, Alberto Arceri <sup>1</sup>, Elena Artioli <sup>1</sup>, Laura Langone <sup>1</sup>, Simone Ottavio Zielli <sup>1</sup>, Beatrice Martini <sup>2</sup>, Francesco Traina <sup>2,3</sup>, Cesare Faldini <sup>1,2</sup> and Lorenzo Brognara <sup>2,\*</sup>



<https://blog.xsensor.com/how-two-decades-of-out-of-shoe-pressure-analysis-led-me-to-xsensor-technology-part-4-of-5>

## Pressão Articular (Stresse Mecânico)

Embora o artigo de Schoenfeld foque muito na cinética (movimento), ele menciona a pressão nas superfícies articulares (como a patelofemoral).

- Na estática, durante um agachamento isométrico numa posição inadequada, a área de contacto entre a rótula e o fémur pode diminuir, aumentando a **pressão articular** e o risco de lesão por compressão.

## Estática: Pressão

A pressão na secção de Estática:

- **Análise de Equilíbrio:** Ajuda a explicar como o corpo se mantém imóvel (estático) através da distribuição de carga.
- **Base de Suporte:** A pressão é a forma como quantificamos a interação entre o peso (força) e a base onde o atleta está apoiado.

# ANÁLISE DAS FORÇAS PRODUZIDAS

## Grandezas Escalares e Grandezas Vetoriais.

### Grandezas Escalares

São grandezas que ficam completamente definidas apenas com um número (valor numérico) e uma unidade de medida. Não têm direção nem sentido.

#### □ Exemplos:

- a) Massa (70 kg).
- b) tempo (10 s).
- c) temperatura (37°C).
- d) distância percorrida (100 m).

□ **Como calcular:** Seguem a aritmética comum. Se correres 5 km de manhã e 5 km à tarde, a distância total é simplesmente  $5+5=10$  km.

### Grandezas Vetoriais

São grandezas que, para serem entendidas, precisam de quatro elementos: módulo (valor), direção (ex: horizontal), sentido (ex: para a direita) e ponto de aplicação.

#### □ Exemplos:

- a) Força.
- b) Velocidade.
- c) Aceleração.
- d) Deslocamento e Peso.

#### □ **Como desenhar:** Representam-se por uma seta.

- a) O comprimento da seta indica a intensidade (módulo).
- b) A linha da seta indica a direção (vertical, horizontal, inclinada).
- c) A ponta da seta indica o sentido.

## Como Calcular (Soma de Vetores)

Ao contrário das grandezas escalares, os vetores não se somam apenas numericamente se não estiverem na mesma linha.

### A. Na mesma direção e sentido

Somam-se os valores:  $R = A + B$

(Ex: Dois colegas a empurrar uma maca no mesmo sentido).

### B. Sentidos opostos

Subtraem-se os valores:  $R = A - B$

### C. Direções perpendiculares (90°)

Utiliza-se o **Teorema de Pitágoras** para encontrar a resultante (R):  $R^2 = A^2 + B^2 \Rightarrow R = \sqrt{A^2 + B^2}$

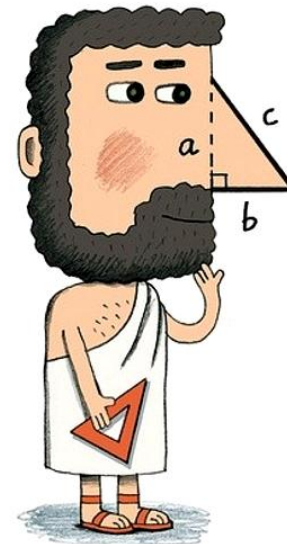
## Como Desenhar?

Para desenhar os vetores de biomecânica:

1. **Ponto de Aplicação:** Se for o Peso, a seta começa no **Centro de Gravidade**.
2. **Linha de Ação:** Desenha uma linha reta que passa pelo vetor.
3. **Escala:** Se uma força é o dobro da outra, a seta deve ter o dobro do tamanho.

**Dica para o teu organograma:**

- Escalares:** "Quanto?" (Apenas magnitude).
- Vetores:** "Quanto, para onde e em que sentido?" (Magnitude + Direção).



$$a^2 + b^2 = c^2$$

## Exemplo no Salto (Vetores Perpendiculares)

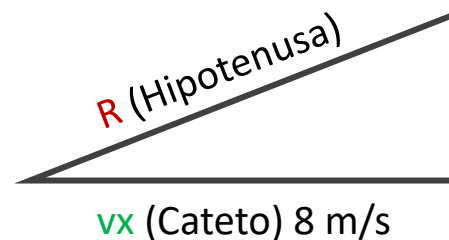
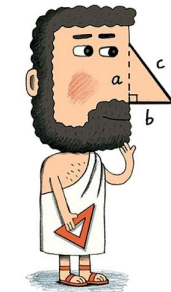
Quando um atleta corre e salta (como no salto em comprimento), ele tem uma velocidade horizontal e uma velocidade vertical.

- ❑ **Vetor Horizontal (vx):** Velocidade da corrida (ex: 8 m/s).
- ❑ **Vetor Vertical (vy):** Força de impulsão para cima (ex: 3 m/s).
- ❑ **Cálculo da Resultante (R):** Usamos o Teorema de Pitágoras:

$$R = \sqrt{8^2 + 3^2} = \sqrt{64 + 9} =$$

$$R = \sqrt{73} \approx 8,54 \text{ m/s}$$

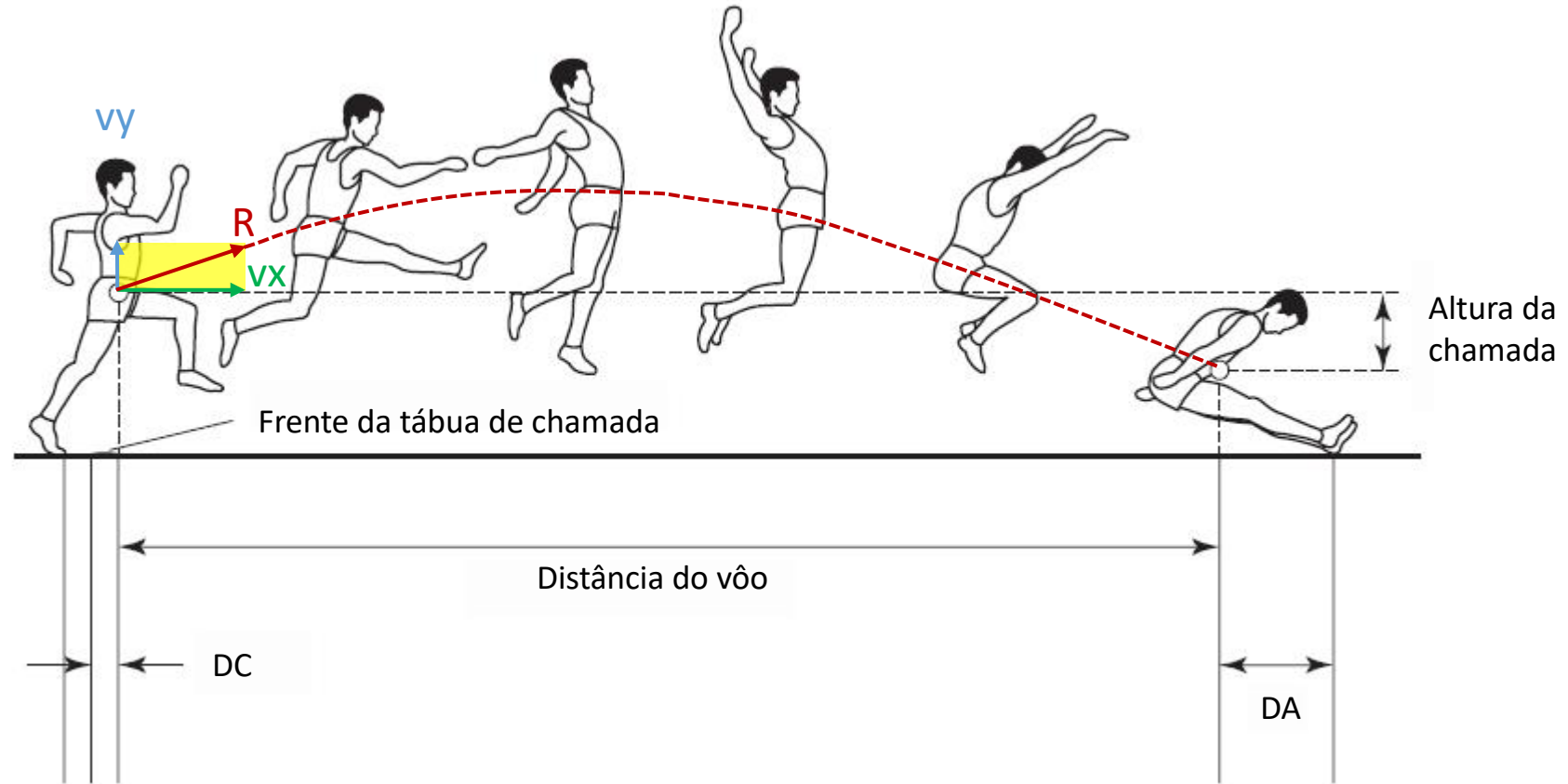
Teorema de Pitágoras



vy (Cateto) 3 m/s

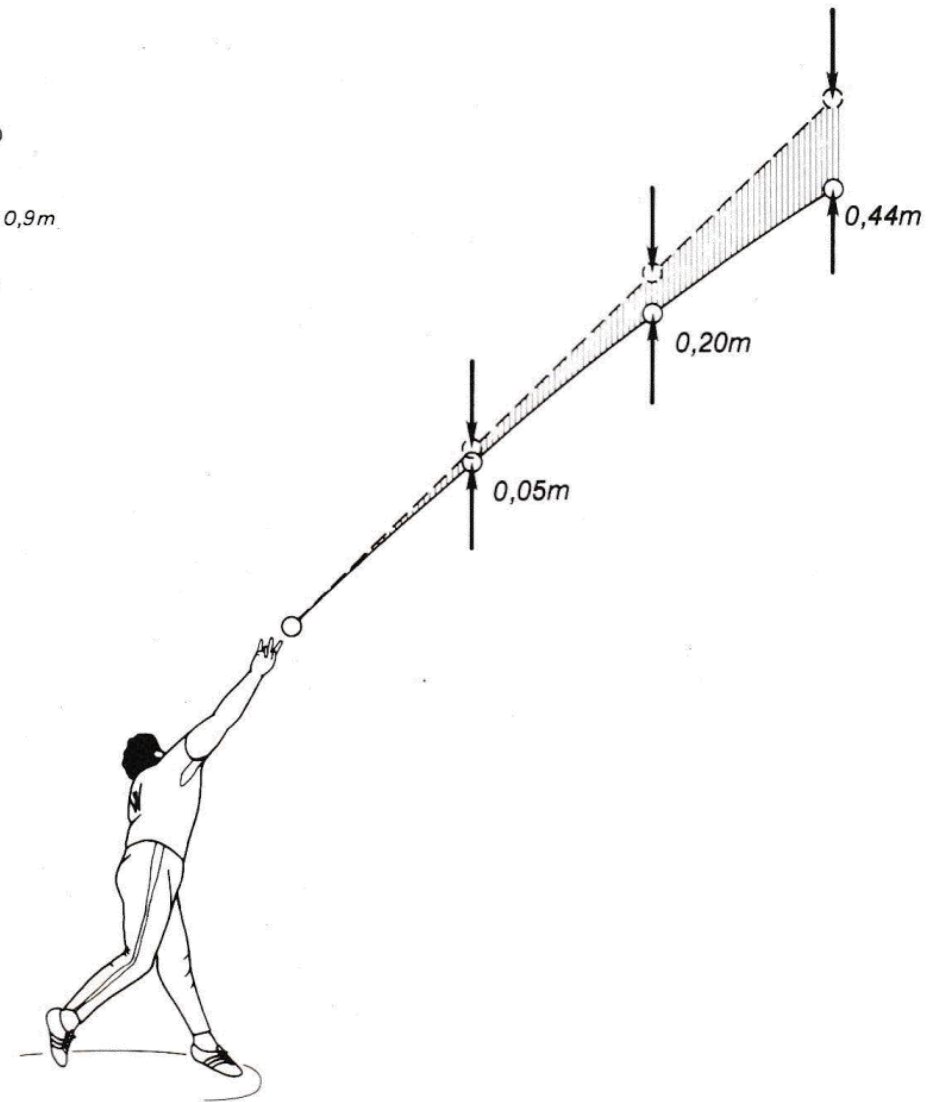
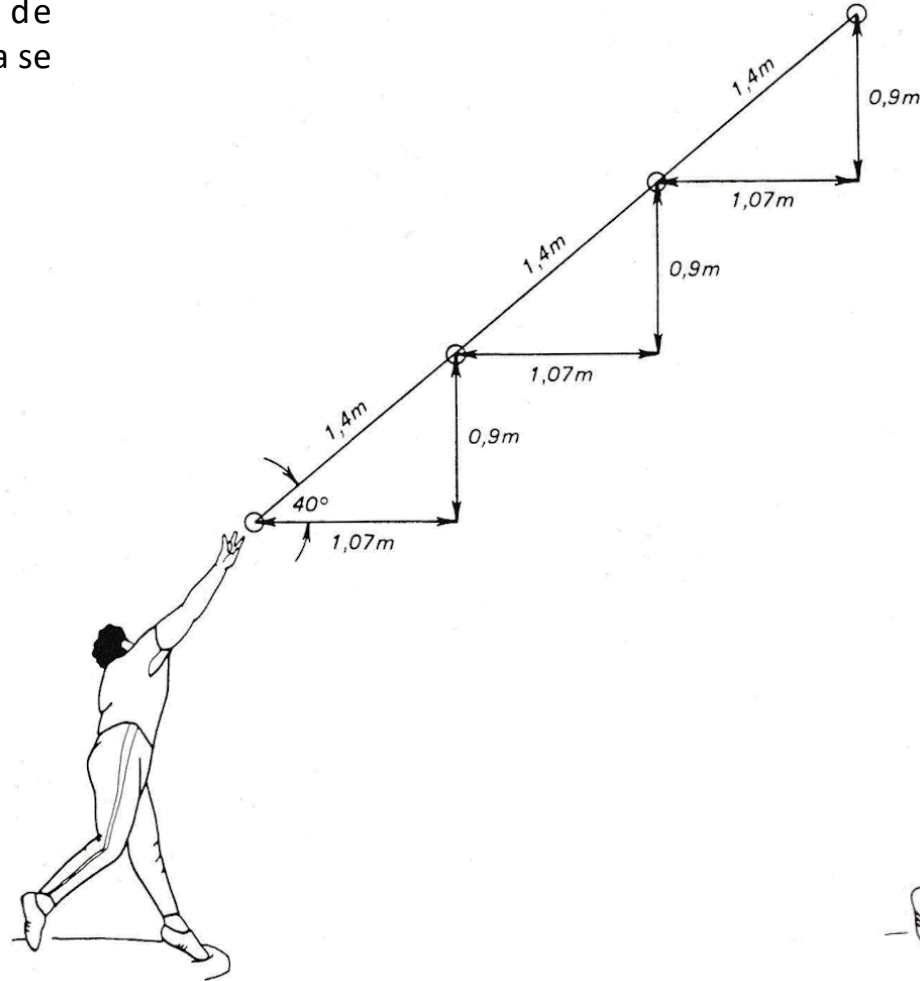
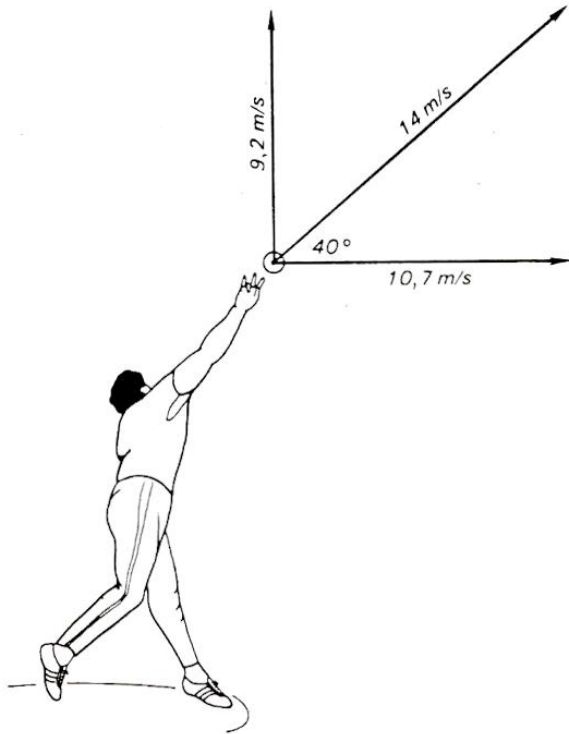
$$R^2 = vx^2 + vy^2$$

$$R = \sqrt{vx^2 + vy^2}$$



**Desenho:** O vetor resultante será uma diagonal que indica a trajetória real do centro de gravidade do atleta no momento da saída do solo.

A construção do paralelogramo de vetores pode ser também usada para se achar as componentes de um vetor.



Se a gravidade pudesse ser ignorada, o peso viajaria em igual distância horizontal e vertical em iguais períodos de tempo. Então, um peso solto a 14 m/s num ângulo de 40° da horizontal, viajaria 1,07 m horizontalmente e 0,9 m verticalmente, para cada 0,1 s do seu vôo.

A gravidade causa um desvio na trajetória de um projétil, a qual ele deveria seguir na ausência da mesma.

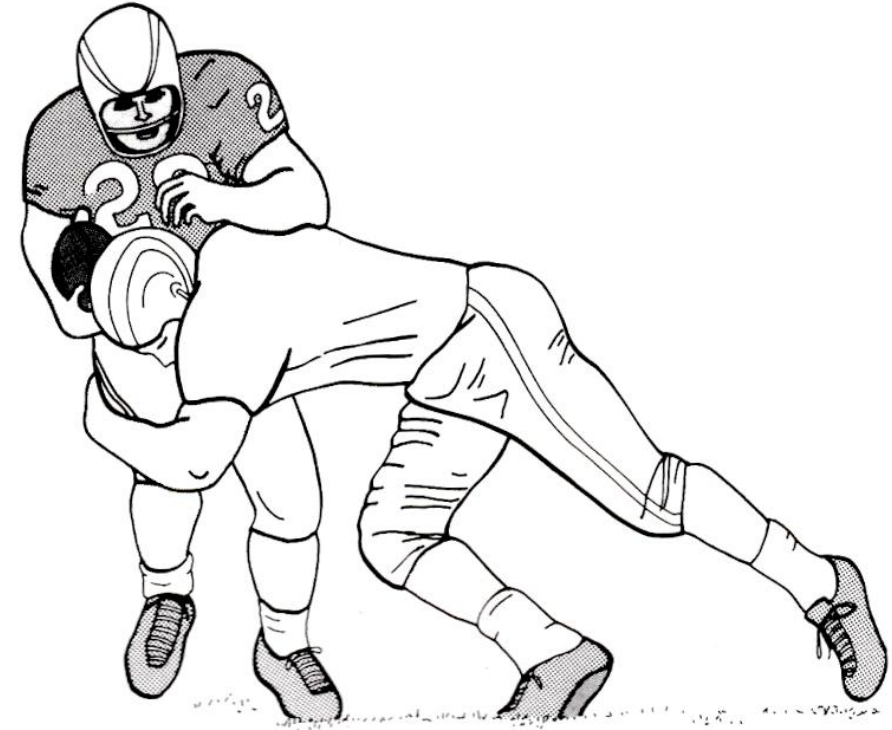
## Vetor resultante:

No caso de um jogador de futebol americano que é agarrado lateralmente por outro jogador. Se o portador da bola se desloca com uma velocidade de  $8 \text{ m/s}$  e sofre uma carga lateral por parte do jogador defensivo o qual imprime uma velocidade de  $6 \text{ m/s}$  numa direção em ângulo reto relativamente ao seu movimento original, o efeito combinado destas duas velocidades pode ser determinado através da utilização de uma construção geométrica simples conhecida como paralelogramo de vetores. Esta construção envolve as seguintes etapas:

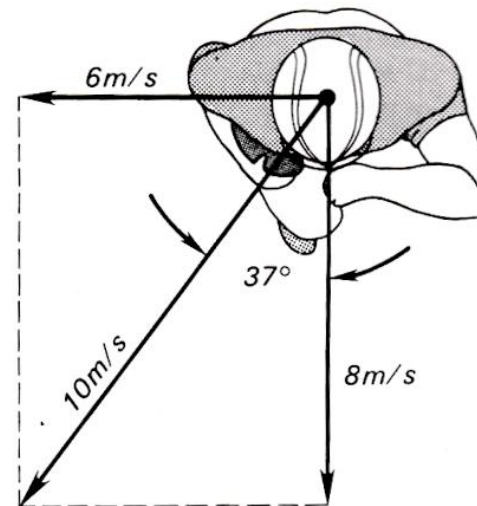


### 1. Representação do Ponto de Aplicação

Identifica o Centro de Gravidade (CG) do atacante ou o ponto exato de impacto. Este será o ponto de origem (cauda) de ambos os vetores.



(a)



(b)

A resultante de dois vetores é obtida pelo uso da construção do paralelogramo de vetores.



## 2. Desenho dos Vetores (Lados do Paralelogramo)

- **Vetor A** (Atacante): Desenha uma seta horizontal que representa a força/velocidade do jogador que corre para a frente.
- **Vetor B** (Defesa): Desenha uma seta perpendicular (frequentemente lateral, a  $90^\circ$ ) que representa a força do impacto do defesa.

Nota: O comprimento das setas deve ser proporcional à intensidade de cada força.



## 3. Fecho do Paralelogramo

Traça linhas tracejadas paralelas a cada vetor, partindo das extremidades das setas originais:

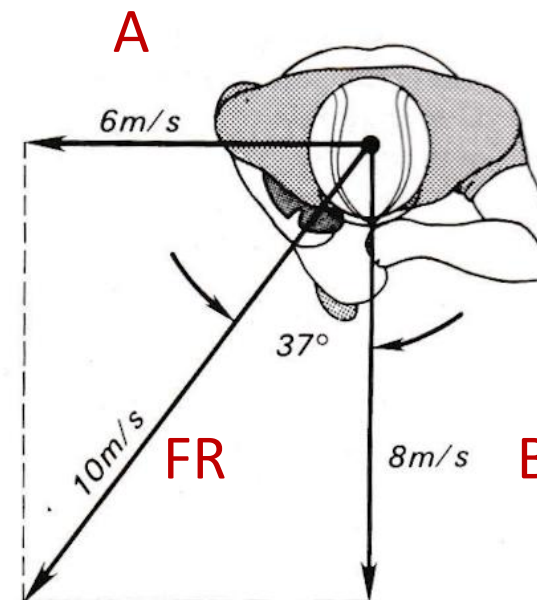
- Desenha uma linha paralela ao Vetor A a partir da ponta do Vetor B.
- Desenha uma linha paralela ao Vetor B a partir da ponta do Vetor A.
- Onde estas linhas se cruzam é o vértice oposto do paralelogramo.



## 4. Determinação da Resultante (R)

DesenhaR uma seta sólida que parte da origem comum (ponto de impacto) até ao ponto onde as linhas tracejadas se cruzaram.

- **Significado Biomecânico:** Esta diagonal é a **Força Resultante**. Ela indica a nova direção e intensidade do movimento do atacante após o choque.

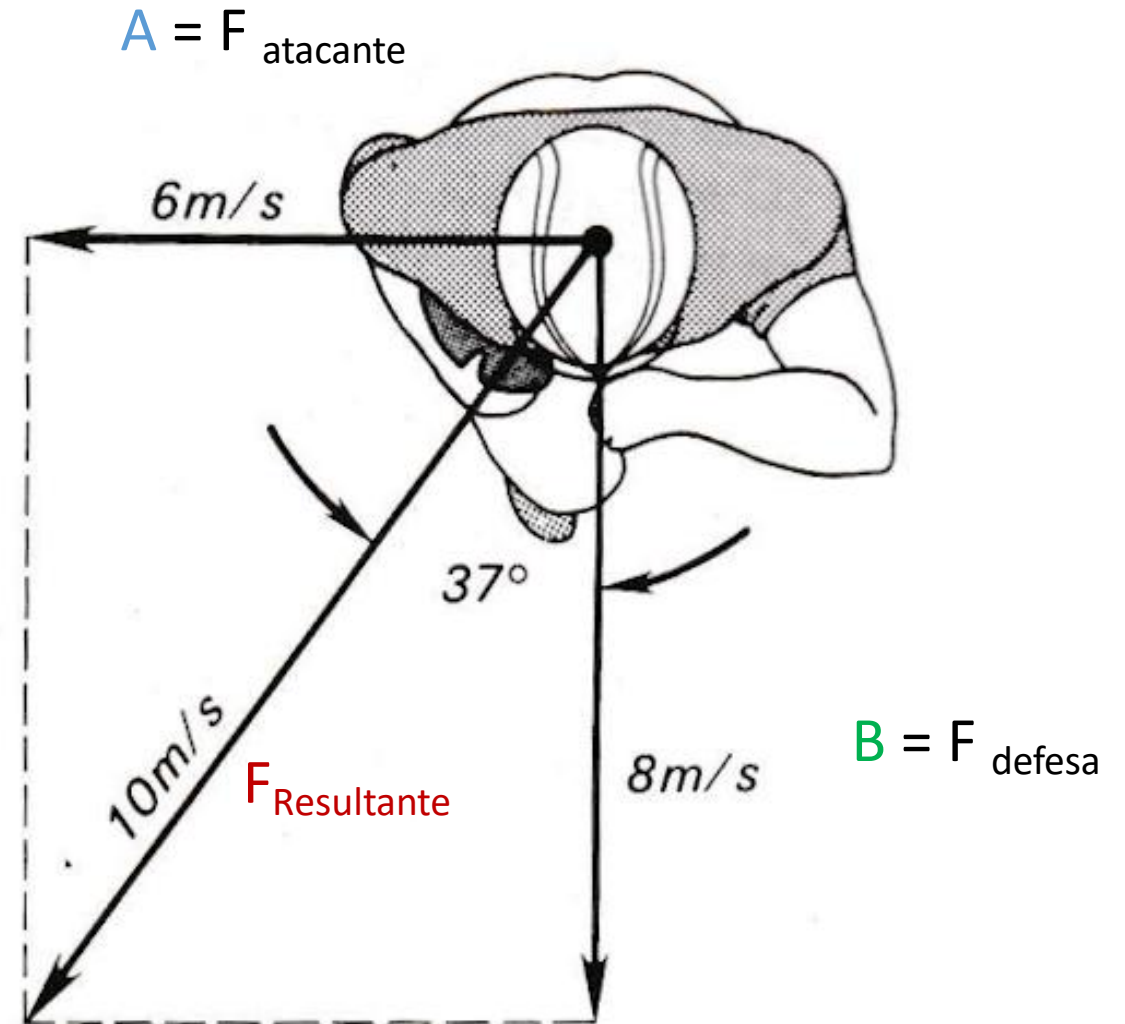
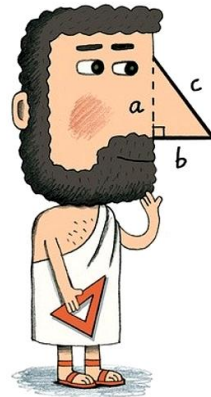


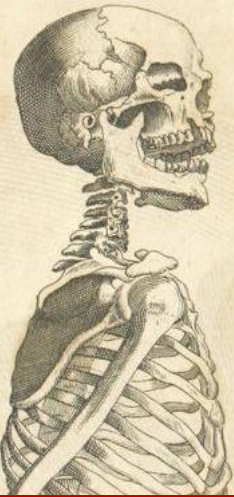
## Aplicação do Teorema de Pitágoras

Como os jogadores se movem na perpendicular (90°), podemos calcular a intensidade da força resultante ( $F_{\text{Resultante}}$ ) usando a fórmula referida anteriormente:

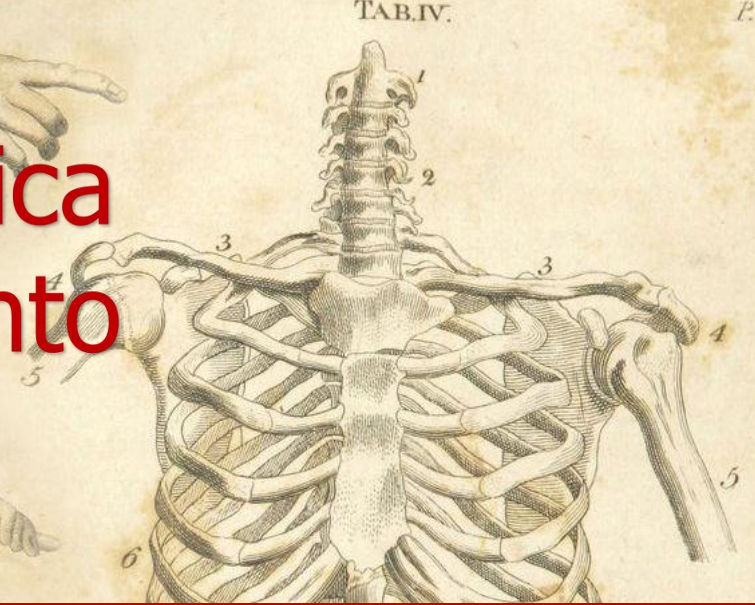
$$F_{\text{Resultante}} = \sqrt{F_{\text{atacante}}^2 + F_{\text{defesa}}^2}$$

Este cálculo permite prever se o atacante será desviado da sua rota ou se a força do defesa é suficiente para interromper o movimento linear.

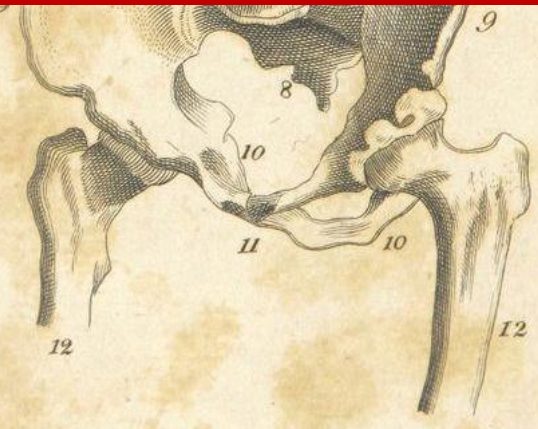




Fundamentos de Mecânica  
para análise do Movimento



## 2. DINÂMICA



# Mecânica

Ramos da Mecânica dos Corpos Rígidos.

Estática

Dinâmica

Explicam como as forças alteram o estado de movimento de um corpo (tirando-o do repouso ou mudando a sua velocidade). Elas são a *base* da Dinâmica

Cinemática

Apenas descreve o movimento:  
↓  
Posição, Tempo, Velocidade

Cinética

Estuda as causas (forças)

3ª Lei de Newton

Ação - Reação

2ª Lei de Newton

$F = m \times a$

1ª Lei de Newton

Lei da Inércia

Forças Externas

Forças Internas

Linear

Trabalho, Potência e Energia

Ângular

Torque e momento e inércia

## 2. DINÂMICA (Corpos em aceleração)

### a) CINEMÁTICA (Descrição do Movimento)

- ❑ *Variáveis:* Tempo, Espaço, Velocidade, Aceleração.
- ❑ *Tipos:* Linear, Angular e Geral.

### b) CINÉTICA (Causas do Movimento)

- ❑ *Forças Externas:* Gravidade, Reação do Solo (GRF), Atrito.
- ❑ *Forças Internas:* Contração Muscular (Torque/Momento).
- ❑ *Trabalho Mecânico:* Positivo (Concêntrico) e Negativo (Excêntrico).
- ❑ *Sistemas de Forças:* Binário (Par de forças estabilizadoras).

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

## **2.1. CINEMÁTICA**

### Descrição do Movimento

# O Movimento Humano

Existem três formas de Movimento humano:

- Movimento linear
- Movimento angular
- Movimento generalizado (Combinação dos dois anteriores)

## Movimento Linear

Movimento linear (também conhecido como translação) ocorre quando todas as partes do corpo<sup>1</sup> se movimentam:

- à mesma distância;
- na mesma direção;
- ao mesmo tempo.

1 - Neste contexto, o termo corpo pode referir-se ao corpo humano como um todo, a alguma parte do corpo (tal como a cabeça, coxa ou pé) ou algum objeto (tal como uma raquete de ténis, um dardo ou uma muleta) que estejam sendo citados.

Como é que definimos se um movimento é ou não linear?

Selecionamos dois pontos num corpo de forma aleatória e visualizamos o que acontece com a linha traçada por estes pontos durante o movimento. Se estas linhas permanecerem do mesmo tamanho e forem sempre orientadas de tal forma a serem sempre paralelas a todas as outras posições ocupadas anteriormente, o movimento é linear. Se isto não acontecer, o movimento não é linear.

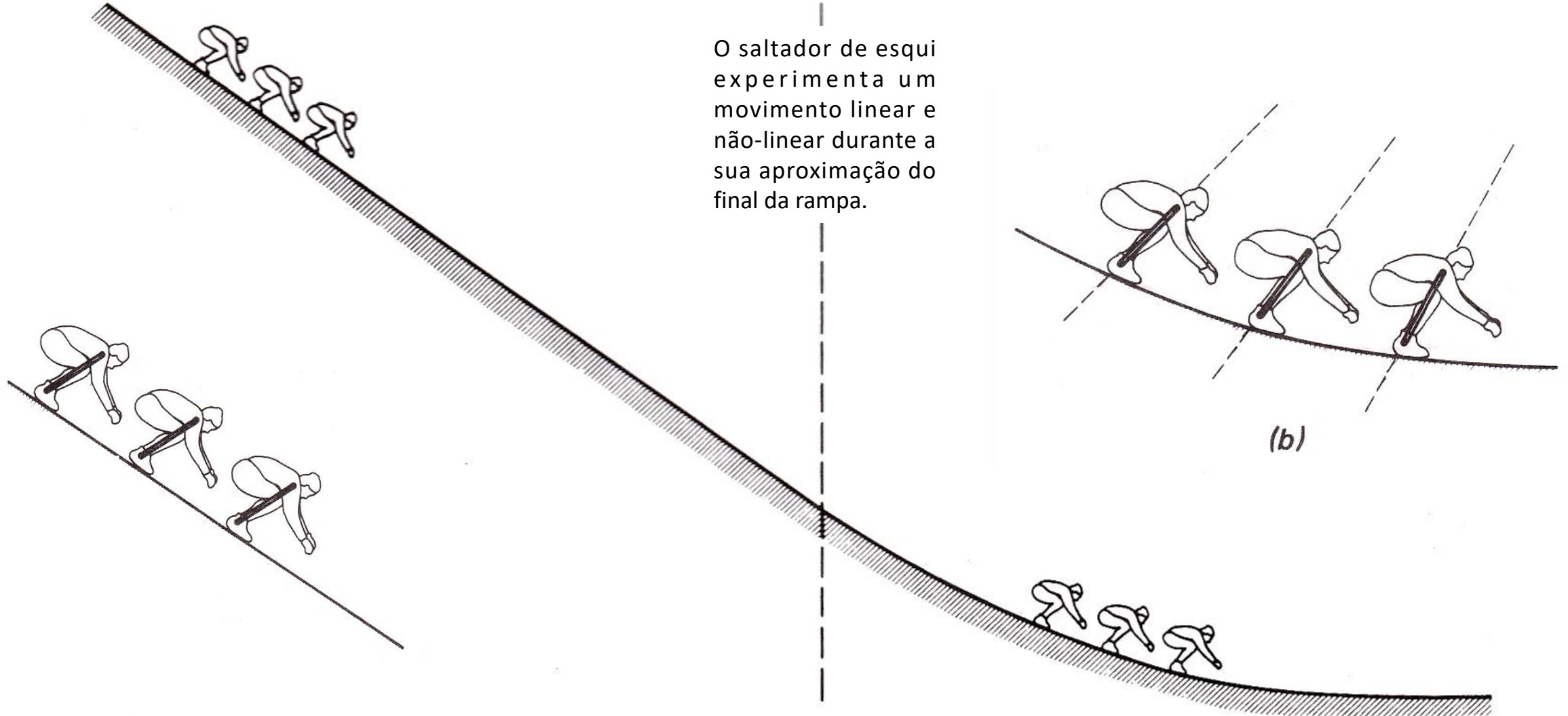
Vamos considerar o exemplo de um esquiador que se prepara para um salto.

- Assim que inicia a descida, as linhas traçadas pelo seu ombro e tornozê-lo direito (ou qualquer outro ponto escolhido) mantém-se do mesmo tamanho e paralelas às suas posições iniciais (movimento linear).
- Quando inicia a parte curva da descida, essas duas condições deixam de ser satisfeitas.

*Movimento linear*

*Movimento não-linear*

O saltador de esqui experimenta um movimento linear e não-linear durante a sua aproximação do final da rampa.



(a)

(b)

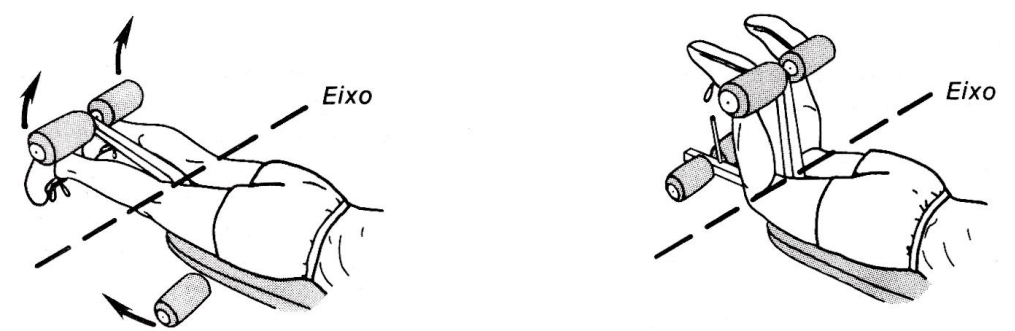
Posições consecutivas da linha reta entre o ombro e o tornozelo (ou quaisquer outros dois pontos no corpo) podem ser usados para determinar se o movimento do corpo é (a) linear ou (b) não-linear

# O Movimento Angular

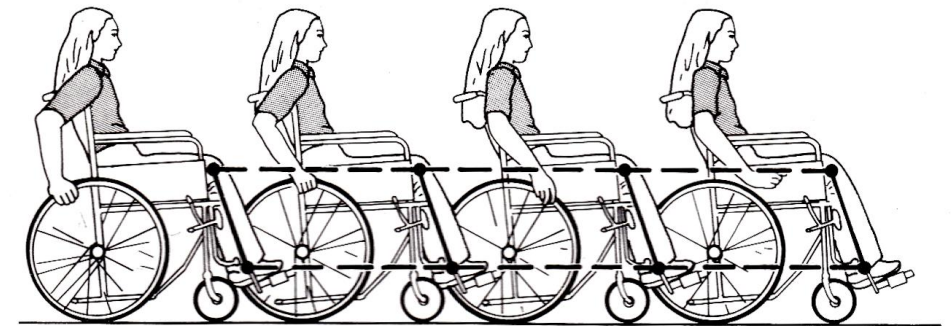
**Movimento angular** (também conhecido como rotação) ocorre quando um corpo se move numa trajetória circular sobre uma linha central, de uma forma que todas as partes do corpo se movem através de um mesmo ângulo, numa mesma direção e ao mesmo tempo.

A linha central, a qual se encontra no ângulo reto no plano do movimento, é conhecida como o eixo de rotação.

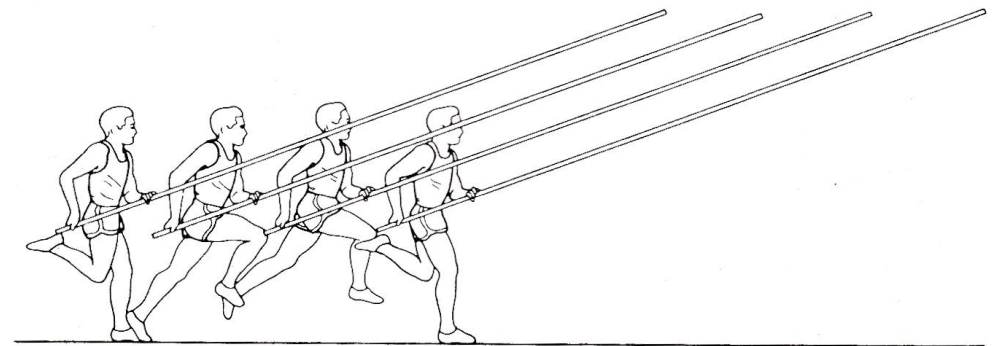
É importante enfatizar aqui que um eixo de rotação é uma linha, e não um ponto. Esta distinção é importante porque, embora os eixos possam geralmente ser tratados como pontos, quando se trata de movimentos que são restritos a um plano, a extensão desta prática para movimentos mais complexos conduz frequentemente a conclusões erradas).



Movimento angular sobre um eixo transversal.



Os movimentos angulares do braço produzem movimento linear no resto do corpo.



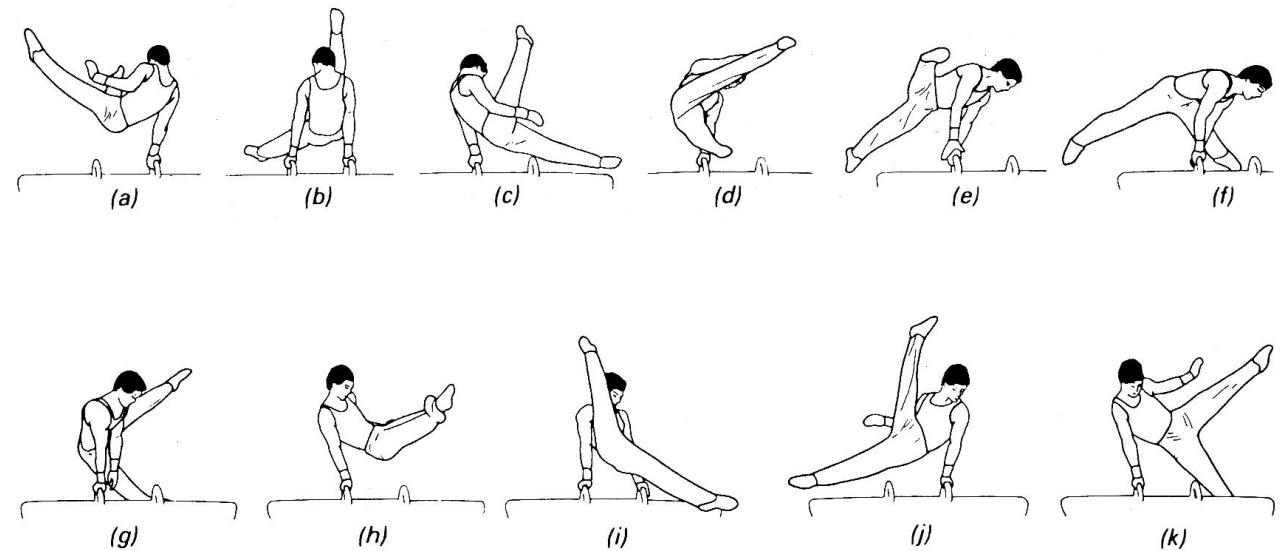
Os movimentos angulares da perna produzem movimento linear na vara.

# O Movimento Generalizado

Movimentos linear e angular são menos comuns em Educação Física, desportos e reabilitação do que os movimentos que são uma combinação desses dois ou uma combinação de vários movimentos lineares ou angulares. Esses movimentos são referidos como **Movimentos Generalizados**.

- ❑ A menina na cadeira de rodas executa um movimento linear em todo o seu corpo através dos movimentos angulares dos seus braços.
- ❑ O saltador com vara aplica um movimento linear na sua vara como resultado dos movimentos angulares das suas pernas.
- ❑ O ginasta que executa o “Thomas Flair” no cavalo com arções, combina vários movimentos angulares para produzir o resultado desejado.

Todos estes e muitos outros são exemplos de movimentos generalizados.



O “Thomas Flair” — um movimento generalizado complexo.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Analisar **movimentos retilíneos** reais, utilizando equipamento de recolha e tratamento de dados (sensores de posição e interface de recolha de dados, vídeo e software de análise de vídeo) sobre a posição de um corpo, ao longo do tempo, associando a posição a um determinado referencial.

## Definição e Identificação de **Movimentos Retilíneos (Lineares)**

O movimento retilíneo é uma forma de **movimento linear** (ou translação).

- ❑ **Conceito:** Ocorre quando todas as partes do corpo se movimentam à mesma distância, na mesma direção e ao mesmo tempo.
- ❑ **Teste de Linearidade:** Para determinar se um movimento é linear, selecionam-se arbitrariamente dois pontos num corpo (ex: ombro e tornozelo). Se a linha que os une permanecer do mesmo tamanho e sempre paralela às posições anteriores durante o movimento, este é linear.
- ❑ **Trajatória:** Embora o movimento linear ocorra frequentemente em linha reta (retilíneo), o documento ressalva que também pode ocorrer em trajetórias curvas (curvilíneo), desde que a orientação do corpo se mantenha constante.

## Referenciais e Posicionamento do Corpo

A análise requer a associação da posição do corpo a um referencial ao longo do tempo:

- ❑ **Pontos de Referência:** Para análise, o "corpo" pode ser o organismo como um todo, uma parte específica (mão, pé) ou um objeto (raquete, dardo).
- ❑ **Centro de Gravidade:** É frequentemente utilizado como o ponto de referência principal para traçar a trajetória do movimento total do corpo.
- ❑ **Eixos de Movimento:** O movimento é analisado em relação a eixos principais: frontal (ântero-posterior), longitudinal (vertical) e transversal (lateral).

## Equipamento e Técnicas de Recolha de Dados

Várias ferramentas e métodos para a recolha e tratamento de dados sobre a posição e tempo:

- **Vídeo e Fotografia:** São utilizados para registar sequências de movimento (análise cinematográfica). Por exemplo, refere-se o uso de filmes expostos a **24 quadros/segundo** para analisar a técnica de um corredor de 100 metros.
- **Plataformas de Reação (Sensores):** Utilizadas para determinar a localização do centro de gravidade e analisar a distribuição de peso e forças em posições estáticas ou dinâmicas.
- **Software e Modelos de Análise:** A análise qualitativa e quantitativa utiliza modelos mecânicos para identificar faltas técnicas e medir variáveis como a rapidez média (distância/tempo) e a velocidade instantânea.

## Metodologia de Observação Real

Para uma análise eficaz em contexto real, sugerem-se as seguintes diretrizes:

- **Ponto de Observação:** O observador deve colocar-se numa linha que forme um ângulo reto com a direção do movimento e num ponto médio da distância a percorrer para minimizar distorções de perceção.
- **Sistemática de Análise:**
  - a) Efetuar as primeiras observações para obter uma impressão geral da execução.
  - b) Realizar exames subsequentes focados em partes específicas do corpo ou fases do movimento.
  - c) Utilizar ajudas visuais (como o vídeo) para permitir a revisão detalhada do movimento que a vista humana não consegue captar totalmente em tempo real.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Interpretar gráficos posição-tempo e velocidade-tempo de **movimentos retilíneos** reais.

Para interpretar gráficos de posição-tempo ( $d-t$ ) e velocidade-tempo ( $v-t$ ) em movimentos retilíneos reais no contexto da biomecânica, é necessário compreender a relação entre as variáveis de distância, deslocamento, tempo e velocidade.

### Gráficos Posição-Tempo ( $d$ vs $t$ )

Estes gráficos descrevem a localização de um corpo ou parte dele (como o centro de gravidade) em relação a um referencial ao longo do tempo.

- **Inclinação da Reta:** No movimento retilíneo, a inclinação (declive) da linha no gráfico representa a velocidade.
  - a) *Linha Reta Diagonal:* Indica uma velocidade constante (movimento uniforme).
  - b) *Curva (Parábola):* Indica que a velocidade está a mudar, ou seja, existe aceleração.
- **Posição em Repouso:** Uma linha horizontal indica que a posição não muda com o tempo, logo a velocidade é zero.

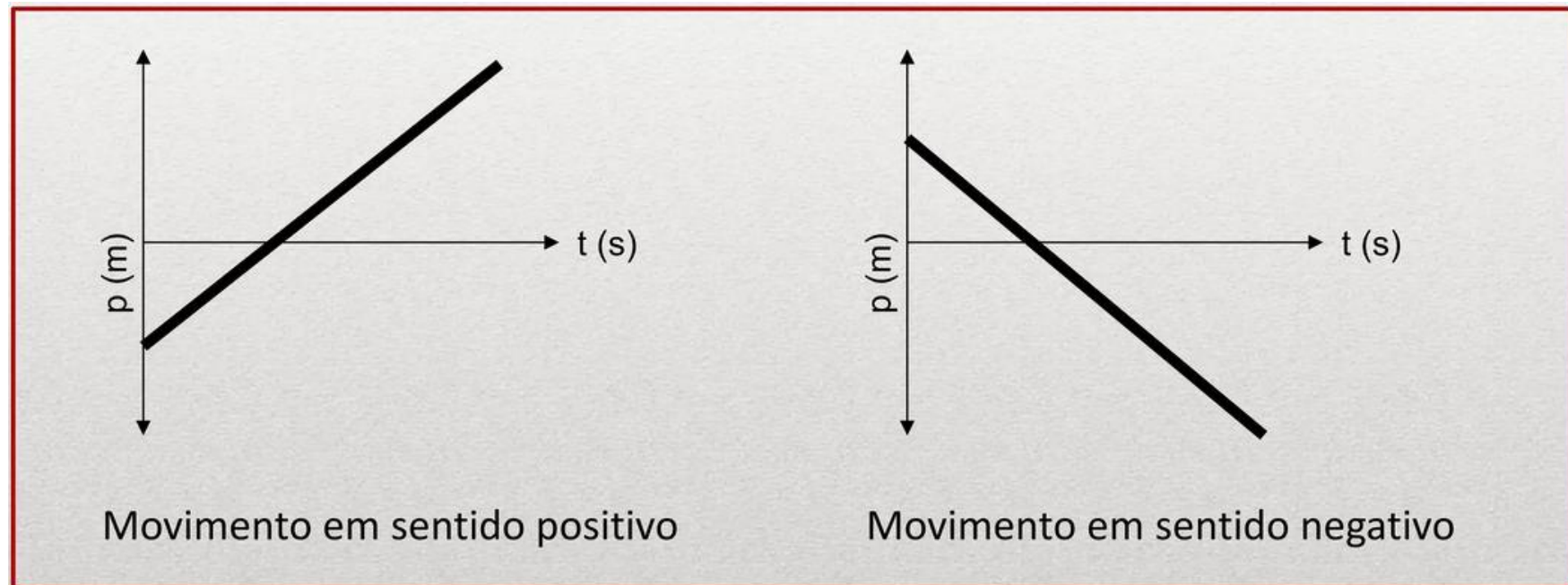
## Gráficos Velocidade-Tempo ( $v$ vs $t$ )

Estes gráficos mostram como a rapidez ou velocidade do atleta varia durante a execução de uma tarefa, como uma corrida de 100 metros.

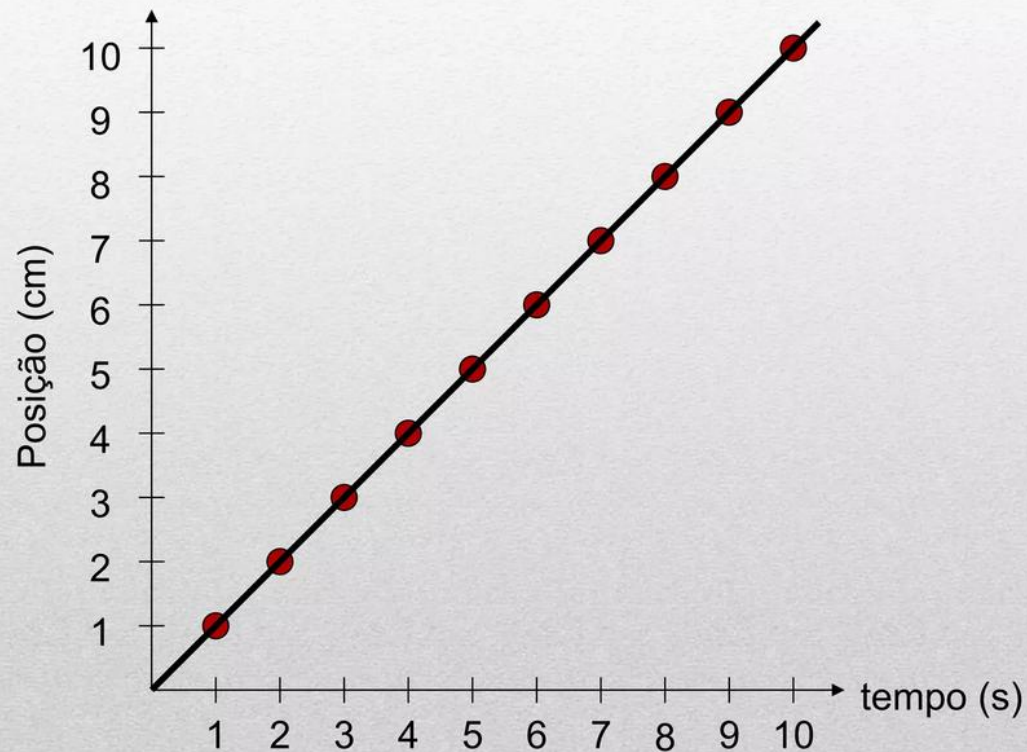
- **Inclinação da Reta:** A inclinação neste gráfico representa a **aceleração**.
  - a) **Inclinação Positiva:** O corpo está a aumentar a magnitude da sua velocidade (aceleração positiva).
  - b) **Inclinação Negativa:** O corpo está a diminuir a velocidade (desaceleração ou aceleração negativa).
- **Área sob a Curva:** A área entre a linha do gráfico e o eixo do tempo representa o **deslocamento** (distância percorrida) ou, em análises de força-tempo, o **impulso** que gera a mudança de velocidade.
- **Velocidade Média vs. Instantânea:** A velocidade obtida em intervalos longos é a média ( $v=d/t$ ); em intervalos muito curtos, aproxima-se da velocidade instantânea.

Característica	Gráfico Posição-Tempo (d-t)	Gráfico Velocidade-Tempo (v-t)
Linha Horizontal	Parado (Velocidade = 0)	Velocidade Constante (Aceleração = 0)
Linha Reta Diagonal	Velocidade Constante	Aceleração Constante
Inclinação (Declive)	Representa a Velocidade	Representa a Aceleração
Curva	Movimento Acelerado	Aceleração Variável

O movimento uniforme é representado por um alinha reta.



# Gráficos Posição-Tempo

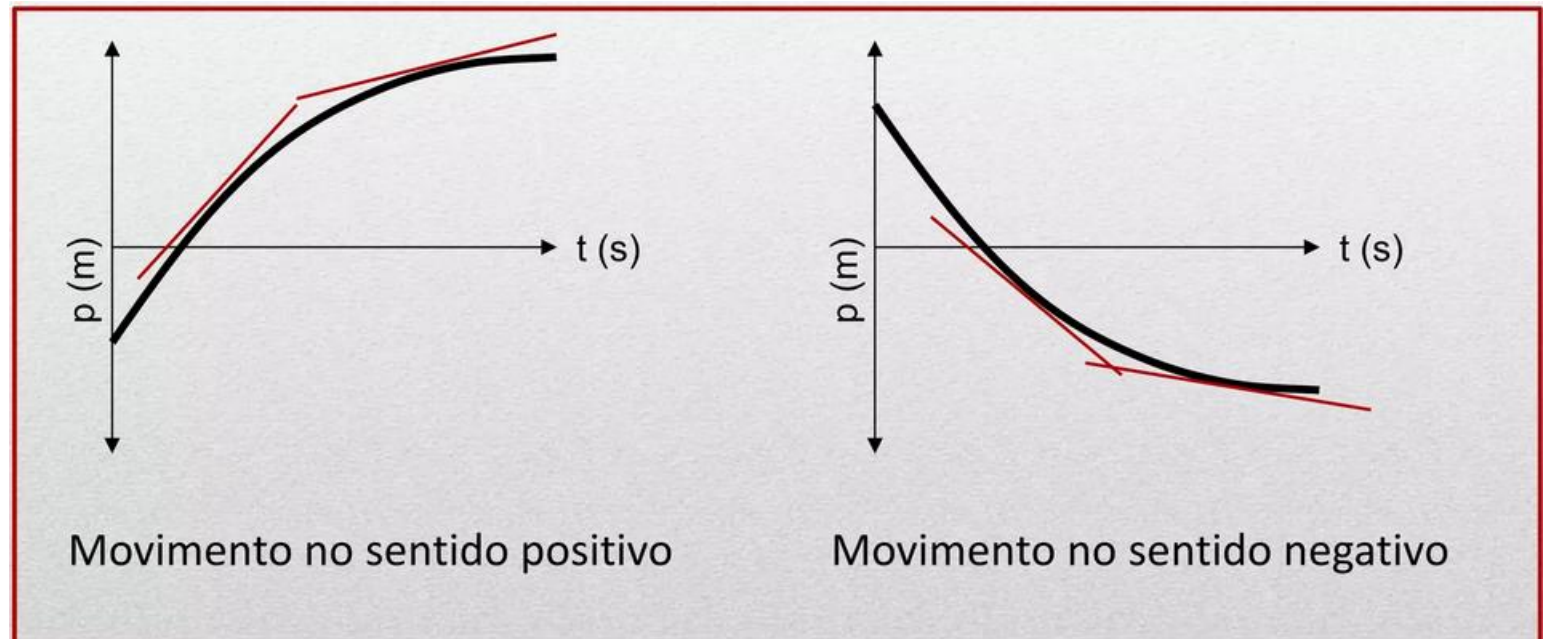
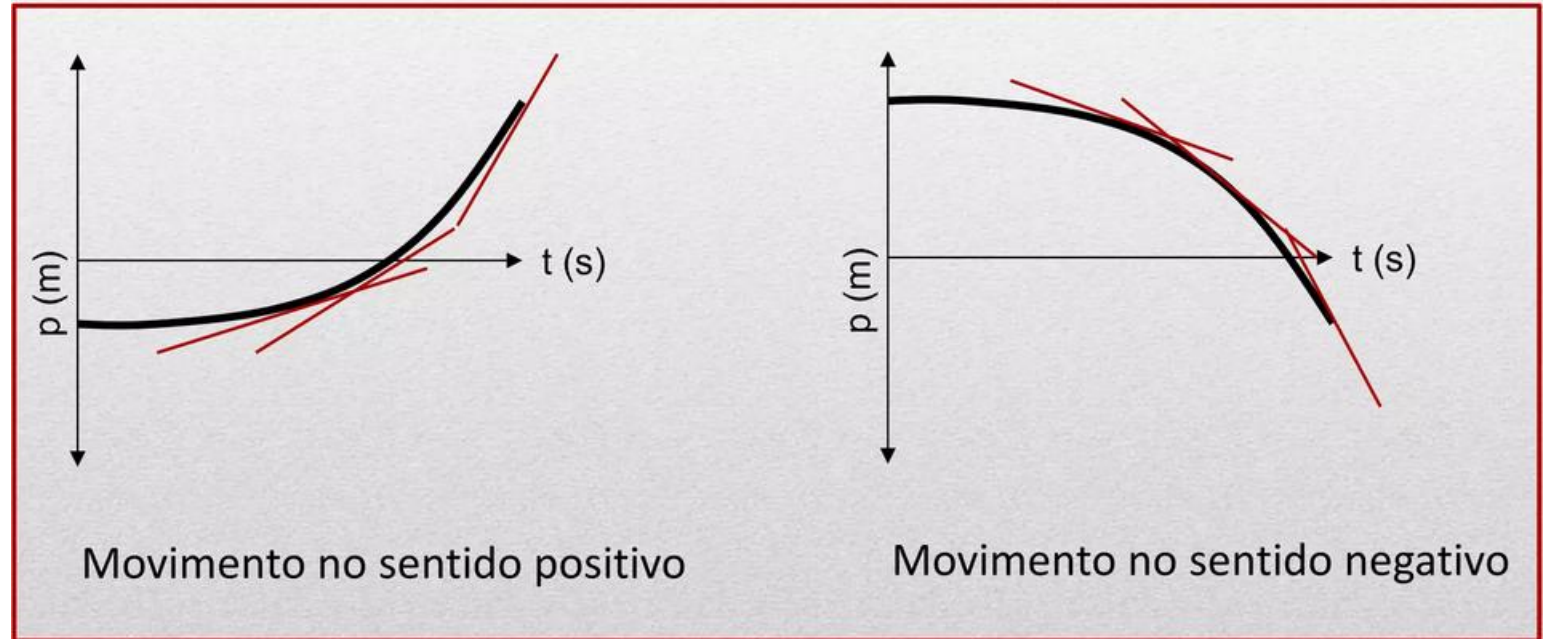


Um segmento horizontal significa que o corpo está em repouso

Segmentos curvos significa que a velocidade do corpo está a variar. **Movimento acelerado.**

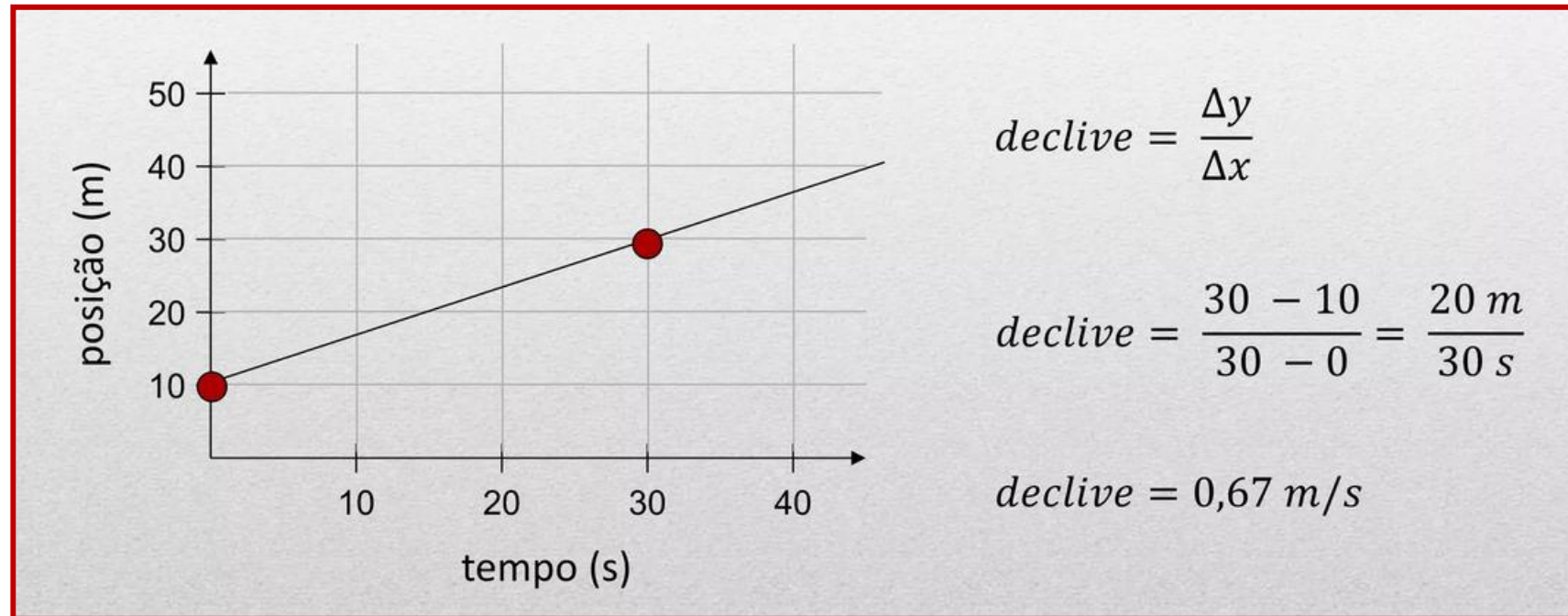
# Gráficos Posição Tempo.

Segmentos curvos significa que a velocidade do corpo está a variar. **Movimento retardado.**



# Gráficos Posição Tempo.

O declive num gráfico P-T é igual à velocidade do corpo nesse segmento.



# Gráficos Velocidade Tempo.

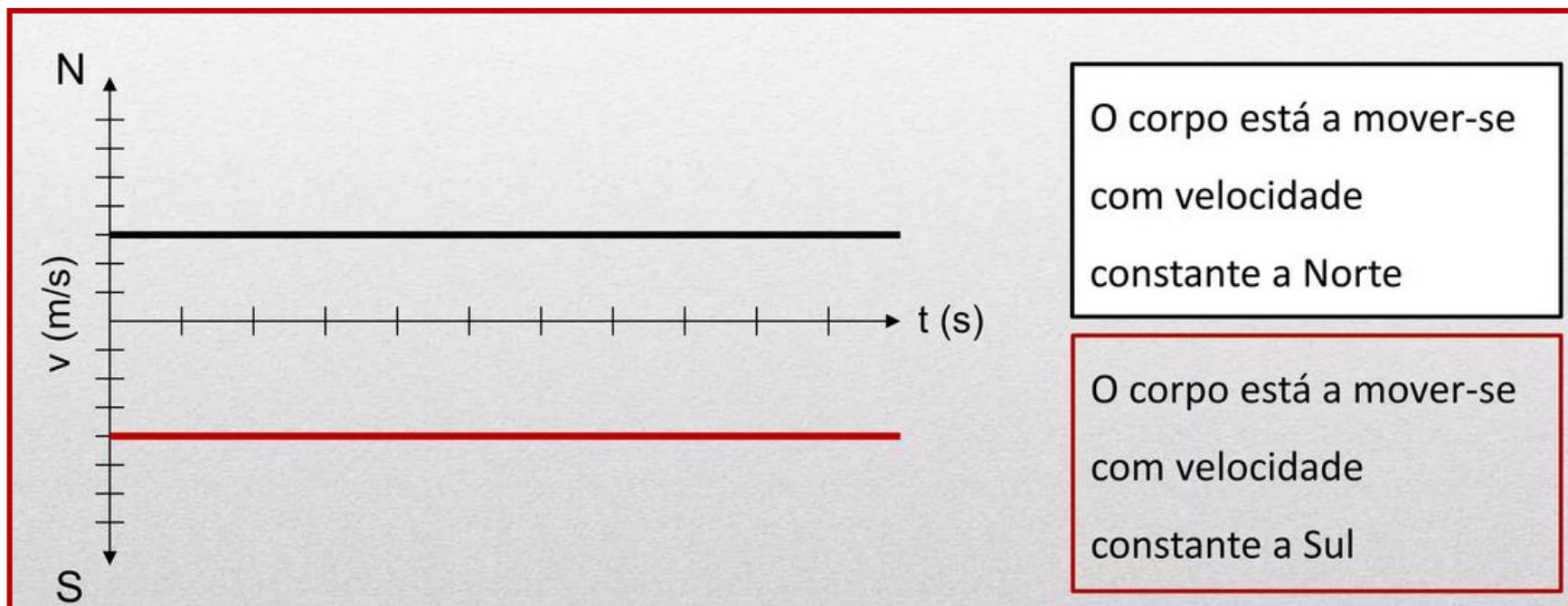
Um gráfico velocidade-tempo (V-T) representa a velocidade de um corpo em função do tempo.

☐ Linha horizontal = *velocidade constante*.

Uma linha reta inclinada = *aceleração constante*

☐ **Declive positivo** = *aceleração positiva* (Não é necessariamente um movimento acelerado)

☐ **Declive negativo** = *aceleração negativa* (Não é necessariamente movimento retardado)



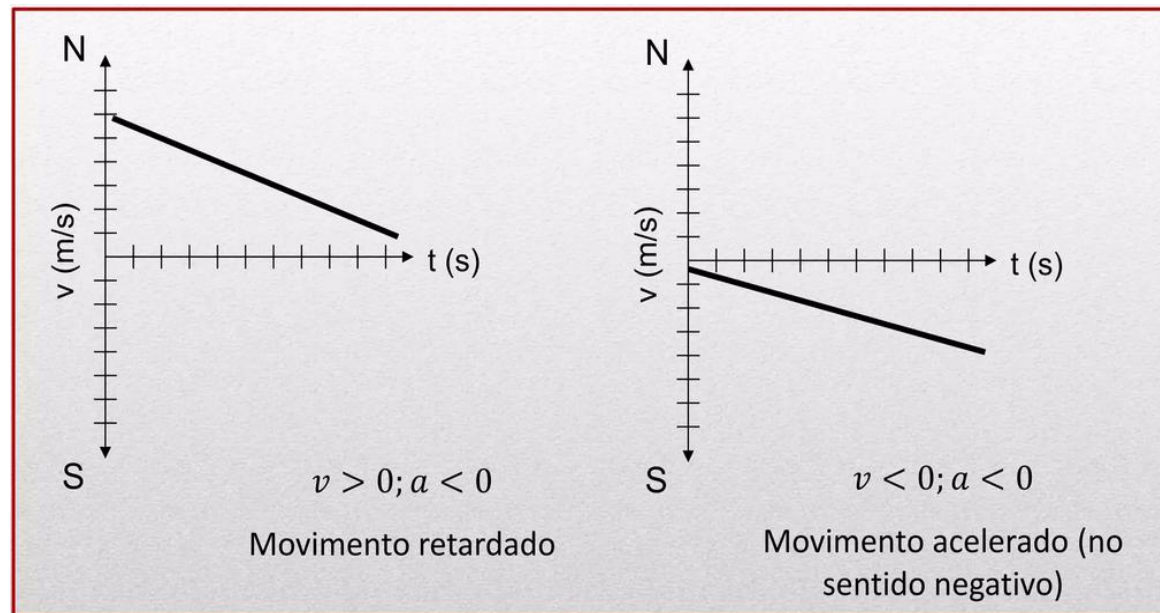
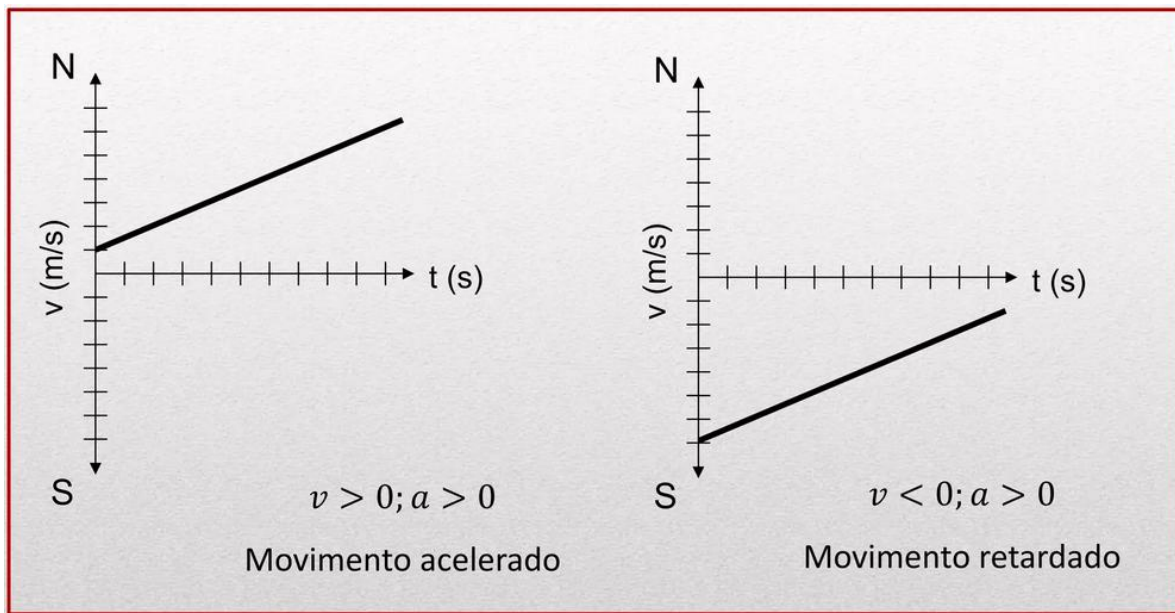
# Gráficos Velocidade Tempo.

Se a linha no gráfico V-T tiver um declive positivo, o corpo está sujeito a uma aceleração positiva.

- Se a velocidade é positiva o corpo está em movimento uniformemente acelerado.
- Se a velocidade é negativa o corpo está em movimento uniformemente retardado.

Se a linha no gráfico V-T tiver um declive negativo, o corpo está sujeito a uma aceleração negativa.

- Se a velocidade é positiva o corpo está em movimento uniformemente retardado.
- Se a velocidade é negativa o corpo está em movimento uniformemente acelerado.



## Leitura de um Gráfico

Através da leitura de um gráfico podem retirar-se algumas informações:

**Vertical:**  $\Delta s$  (*variação de posição*)

**Horizontal:**  $\Delta t$  (*intervalo de tempo*)

**Declive:**  $\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right): \frac{\Delta s}{\Delta t} = v$  ou relacionando as unidades  $\frac{m}{s}$   
(que é a unidade de velocidade)

**Área do Gráfico:**  $\Delta s \times \Delta t$  ou  $m \times s$  –  
neste exemplo não tem significado físico!

## Aplicação na Análise Real

Na prática desportiva, como na análise de um corredor:

- Fase de Aceleração:** O gráfico v–t mostra uma subida íngreme nos primeiros segundos.
- Velocidade Máxima:** O gráfico v–t atinge um patamar (linha horizontal) onde a aceleração é zero.
- Identificação de Falhas:** Flutuações anormais nas curvas de velocidade podem indicar falhas técnicas, como um posicionamento do pé muito à frente do centro de gravidade, que causa desaceleração desnecessária.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Aplicar os conceitos de posição, deslocamento, velocidade e aceleração, na descrição de movimentos **retilíneos** em situações reais.

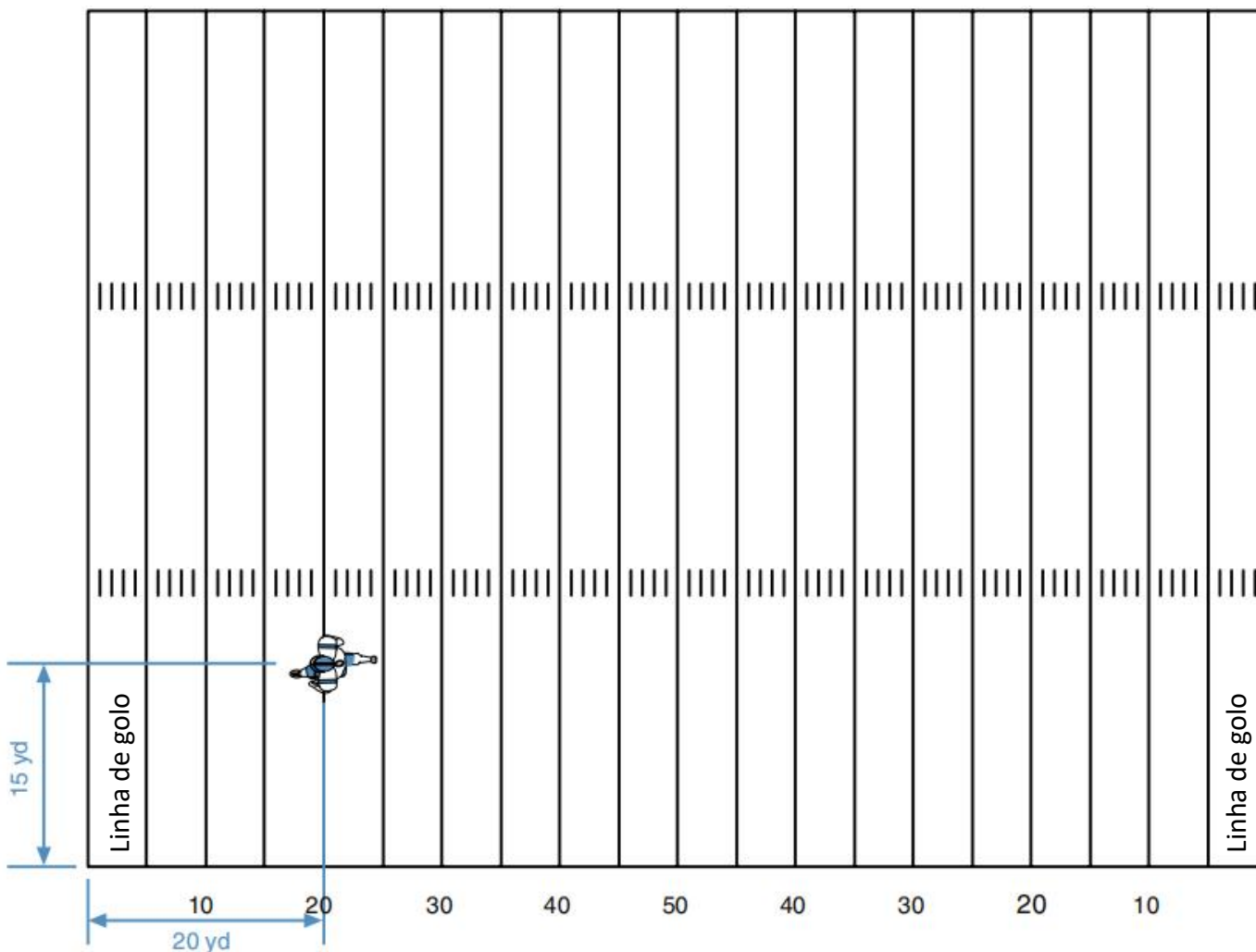
No documento "**Biomechanics of Sport and Exercise**" de Peter McGinnis, a definição de **posição** (no contexto da cinemática linear) é apresentada da seguinte forma:

## Definição de Posição

- **Conceito:** A posição refere-se à localização de um objeto no espaço (ou num plano) em relação a um ponto de referência fixo ou à origem de um sistema de coordenadas.
- **Referencial:** Para descrever a posição de um corpo, o autor utiliza frequentemente o **Sistema de Coordenadas Cartesianas**.
  - a) **Num plano bidimensional (2D)**, a posição é definida por dois números: **x** (posição horizontal) e **y** (posição vertical).
  - b) **Exemplo:** A posição do centro de gravidade de um atleta num dado instante pode ser descrita como  $(x,y)$ .
  - c) **Num Plano tridimensional (3D)** em três dimensões, precisaríamos de três números para descrever a posição de um objeto no espaço.

## Pontos Chave no Documento:

- **Mudança de Posição:** O documento enfatiza que o movimento é, por definição, uma mudança de posição ao longo do tempo.
- **Referencial Fixo:** A posição só faz sentido se houver um ponto de origem  $(0,0)$  estabelecido. Por exemplo, no salto em comprimento, a origem pode ser o bordo da tábua de chamada.
- **Unidade de Medida:** A posição é uma grandeza escalar (ou vetorial quando considerada em relação à origem) medida em unidades de comprimento, tipicamente o **metro (m)** no Sistema Internacional.
- Em suma, para McGinnis, saber a **posição** é saber exatamente onde o objeto está num "mapa" de coordenadas em qualquer momento específico do tempo  $(t)$ .

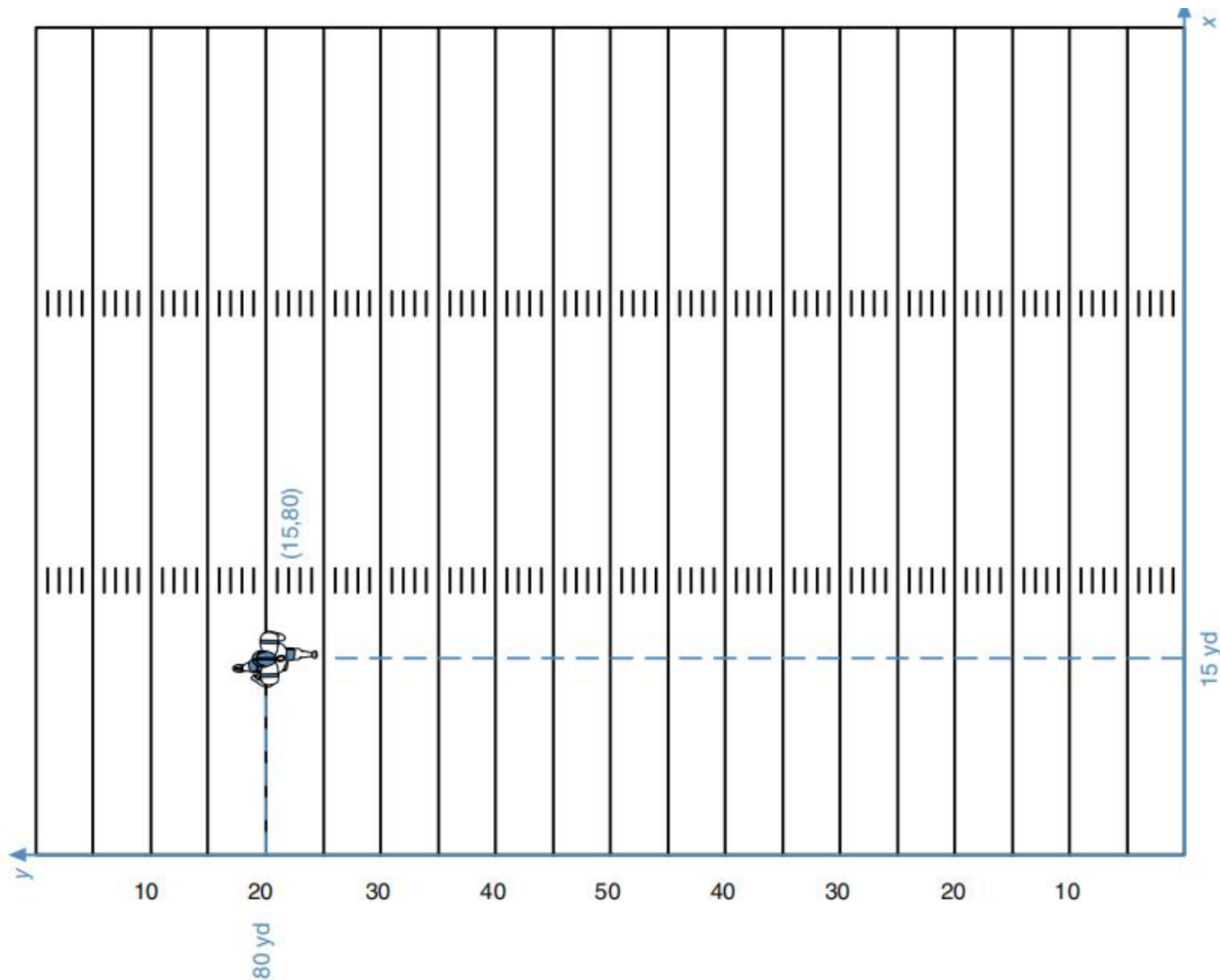


As **coordenadas cartesianas** receberam este nome em homenagem a René Descartes (1596-1650), filósofo e matemático francês a quem se atribui a invenção da geometria analítica.

Nesta situação, pode ser útil configurar um sistema de **coordenadas cartesianas** para ajudar a identificar a localização do corredor.

Em primeiro lugar, precisamos de localizar um ponto de referência fixo para o nosso sistema de coordenadas. Este ponto fixo é chamado de **origem**, porque todas as nossas medições de posição têm origem nele. Vamos colocar a origem deste sistema na intersecção da linha lateral esquerda com a linha de golo do running back. Poderíamos colocar a origem num qualquer ponto fixo; escolhemos a intersecção da linha de baliza com a linha lateral porque era conveniente.

- Imagine o **eixo x** ao longo da linha de baliza com zero na origem e números positivos à direita no terreno de jogo.
- Imagine o **eixo dos y** ao longo da linha lateral esquerda, com zero na origem e números positivos a aumentar à medida que se desloca em direção à baliza oposta.



Com este sistema, poderíamos identificar a posição do *running back* com dois números correspondentes às suas coordenadas x e y em jardas, como se segue: (15, 80).

Esta situação é mostrada na figura b.

- A **coordenada x** de 15 indica que está a 15 jardas da linha lateral esquerda do campo.
- A **coordenada y** do 80 indica que está a 80 jardas da sua linha de golo ou a 20 jardas de marcar um *touchdown*, porque sabemos que as linhas de golo estão a 100 jardas de distância uma da outra.

## Distância (Escalar)

- ❑ **Definição:** É a medida do comprimento total da trajetória percorrida por um corpo, independentemente da direção ou sentido. É uma grandeza **escalar**.
- ❑ **No Futebol Americano:** Se um *running back* corre 10 metros para a frente, recua 5 metros para evitar um defesa e depois corre mais 10 metros para a frente, a distância total é a soma de todos esses trajetos.
- ❑ **Cálculo:**  $d = \text{soma de todos os trajetos}$

Exemplo:  $10\text{m} + 5\text{m} + 10\text{m} = 25\text{ metros}$ .

## Deslocamento (Vetor)

- ❑ **Definição:** É a mudança de posição de um corpo. É uma grandeza **vetorial** que liga apenas o ponto inicial ao ponto final, em linha reta.
- ❑ **No Futebol Americano:** No exemplo anterior, embora o jogador tenha corrido 25 metros (distância), o seu deslocamento real em relação à linha de partida é apenas a diferença entre onde começou e onde terminou.
- ❑ **Cálculo:**  $\Delta s = s_{\text{final}} - s_{\text{inicial}}$

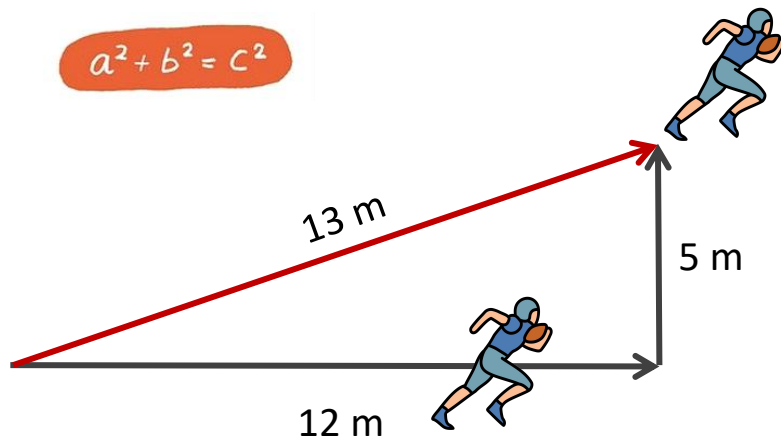
Exemplo (na mesma linha):

$10\text{m (frente)} - 5\text{m (trás)} + 10\text{m (frente)} = 15\text{ metros}$ .

## Cálculos em 2D (Cenário Real de Jogo)

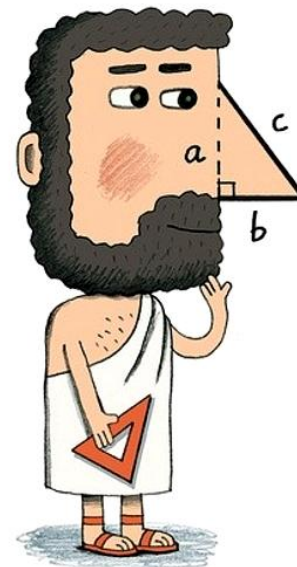
Muitas vezes, o jogador move-se lateralmente. Se um jogador corre **12 metros para a frente** e depois **5 metros para o lado**:

- ❑ **Distância:**  $12\text{m} + 5\text{m} = 17$  metros.
- ❑ **Deslocamento:** Como os movimentos formam um ângulo de  $90^\circ$ , usamos o **Teorema de Pitágoras**:



## Resumo:

- ❑ **Distância:** "Quanto o atleta se moveu?" (Soma total).
- ❑ **Deslocamento:** "Quão longe o atleta está do ponto de partida e em que direção?" (Linha reta entre início e fim).
- ❑ Estes conceitos são usados por McGinnis para definir mais tarde a diferença entre **rapidez média** (baseada na distância) e **velocidade média** (baseada no deslocamento).



$$\Delta s = \sqrt{12^2 + 5^2}$$

$$\Delta s = \sqrt{144 + 25}$$

$$\Delta s = \sqrt{169} = 13 \text{ metros}$$

Para calcular a **rapidez média** e a **velocidade média**, devemos aplicar as distinções entre distância e deslocamento que vimos anteriormente. Segundo o livro de McGinnis, a diferença reside na natureza da grandeza (escalar vs. vetorial).

## Rapidez Média (*Average Speed*)

A rapidez média é uma grandeza **escalar**. Ela indica o quão depressa um atleta se moveu ao longo de toda a trajetória, sem considerar a direção.

□ **Fórmula:**

$$\bar{s} = \frac{d}{\Delta t}$$

- $\bar{s}$  = Rapidez média
- $d$  = Distância total percorrida (comprimento da trajetória)
- $\Delta t$  = Intervalo de tempo total

## Velocidade Média (*Average Velocity*)

A velocidade média é uma grandeza **vetorial**. Ela foca-se apenas na mudança de posição entre o ponto inicial e o ponto final.

□ **Fórmula:**

$$\bar{v} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad \bar{v} = \frac{P_{final} - P_{inicial}}{t_{final} - t_{inicial}}$$

- $\bar{v}$  = Velocidade média
- $\Delta p$  = Deslocamento (a linha reta entre o início e o fim)
- $\Delta t$  = Intervalo de tempo

## Exemplo Prático: O Jogador de Futebol Americano

Imagina que um jogador corre **20 metros** para a frente em **4 segundos**, mas é empurrado e recua **4 metros** nos **2 segundos** seguintes.

- **Tempo Total** ( $\Delta t$ ):  $4s + 2s = 6s$
- **Distância** ( $d$ ):  $20m + 4m = 24m$
- **Deslocamento** ( $\Delta p$ ):  $20m - 4m = 16m$

### Cálculos:

- **Rapidez Média:**  $\bar{s} = \frac{24m}{6s} = 4 \text{ m/s}$

- **Velocidade Média:**  $\bar{v} = \frac{16m}{6s} \approx 2,67 \text{ m/s}$

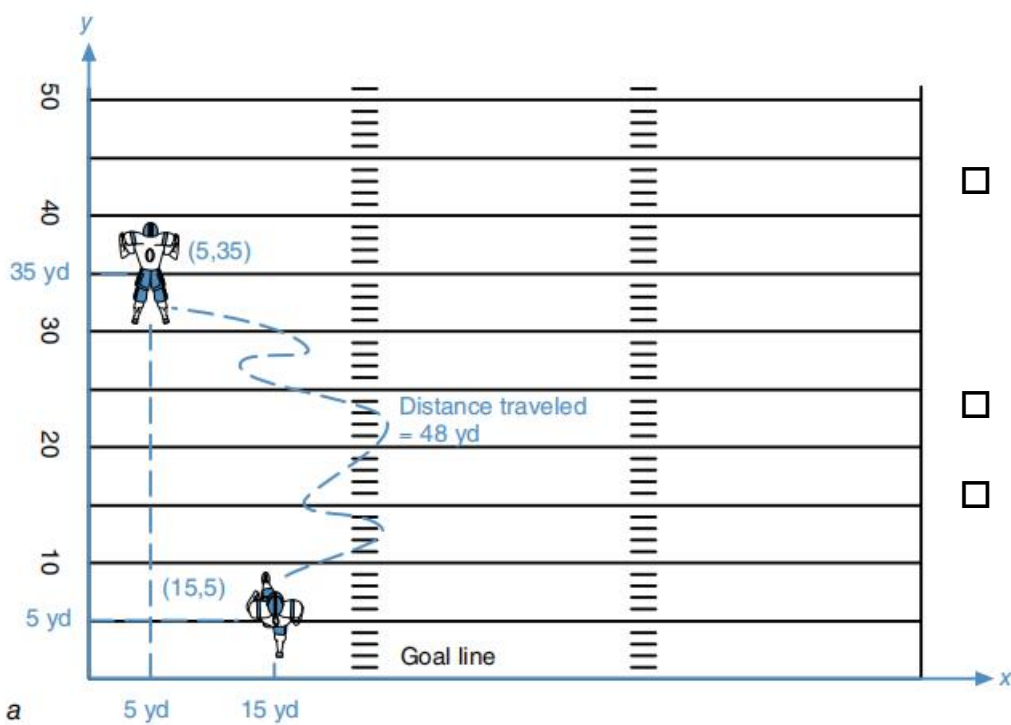
**Nota Importante:** No desporto, se um nadador completa uma piscina de 50 metros (ida e volta), a sua **velocidade média** ao fim dos 100 metros é **zero**, porque o seu deslocamento é zero (voltou ao ponto de partida). No entanto, a sua **rapidez média** terá um valor positivo.

- A velocidade é a taxa de movimento.
- Rapidez é a taxa de movimento numa direção específica.

Mecanicamente, a velocidade e a rapidez são diferentes.

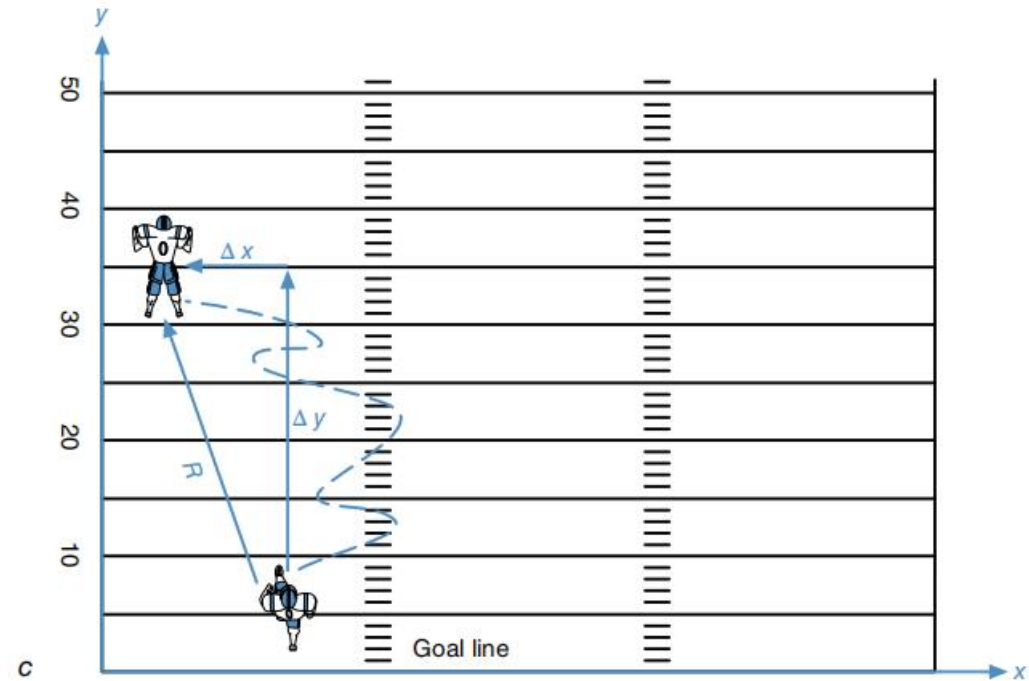
- A **rapidez** é simplesmente a taxa de movimento. Mais concretamente, é a taxa de distância percorrida. É descrita por um único número.
- A **velocidade** é a taxa de movimento numa direção específica. Mais concretamente, é a taxa de deslocação. Como o deslocamento é uma grandeza vectorial, a velocidade também o é. A velocidade tem associada uma magnitude (número) e uma direção.

Se o movimento do objeto em análise for em linha reta e retilíneo, sem mudança de direção, a velocidade média e a velocidade escalar média serão idênticas em magnitude.

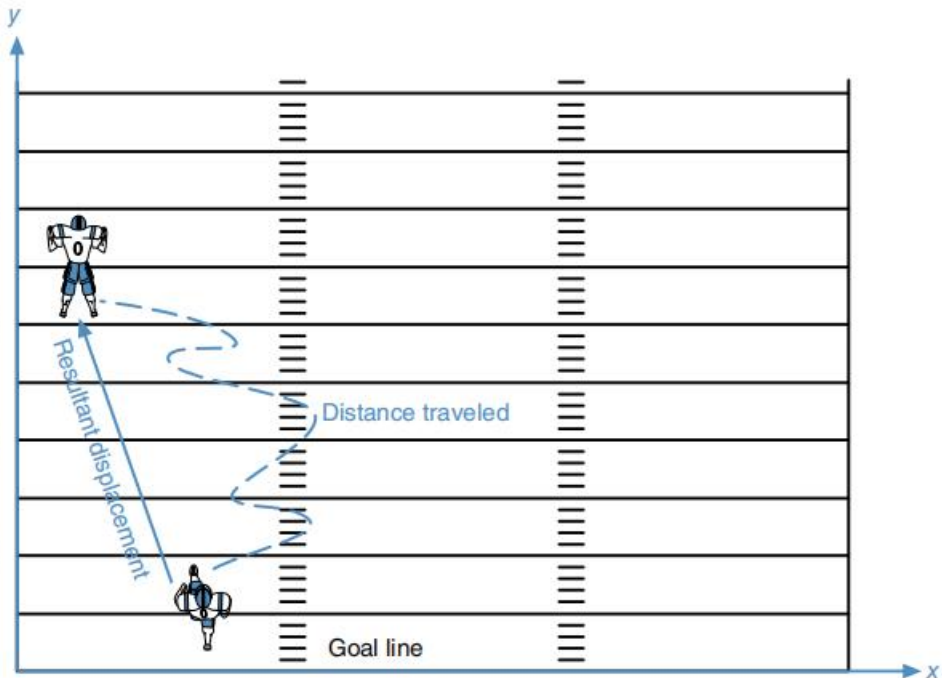


a

- (a) O retorno de pontapé de um *running back* descrito com posições de coordenadas inicial e final e distância percorrida.
- (b) Deslocamento resultante e distância percorrida.
- (c) deslocamento resultante e deslocamentos componentes.



c



b

Os vetores podem ser decompostos em componentes. No exemplo do futebol americano, o *offset* resultante do *running back* não indica diretamente quantas jardas ganhou. Mas se decomusermos este deslocamento resultante em componentes na **direção x** (através do campo) e na **direção y** (em direção à baliza), teremos uma medida da eficácia da corrida. Neste caso, o deslocamento em **y** do *running back* é a medida de importância. A sua posição inicial em **y** era de 5 jardas e a sua posição final em **y** era de 35 jardas. Podemos encontrar o seu deslocamento em **y** subtraindo a sua posição inicial à sua posição final:

$$dy = \Delta y = y_f - y_i$$

Para aplicar os conceitos de **posição, deslocamento, velocidade e aceleração** em situações reais (como uma corrida ou o deslize de um esquiador), devemos olhar para o movimento através da lente da cinemática linear.

## Posição e Referencial

Em situações reais, a posição é a localização exata do atleta num determinado instante (t).

- ❑ **Aplicação:** Para analisar um velocista, o referencial (ponto zero) é a linha de partida. A posição é medida pela distância entre a linha e um ponto específico do corpo (geralmente o tronco ou o centro de gravidade).
- ❑ **No terreno:** Se o sensor de posição indica  $x=10\text{m}$  aos 2 segundos, essa é a posição inicial de análise.

## Deslocamento ( $\Delta d$ )

O **deslocamento** é a mudança de posição. Diferente da distância total percorrida, ele foca na linha reta entre o ponto inicial e o final.

- ❑ **Aplicação:** Numa corrida retilínea de 100m, o deslocamento coincide com a distância. Se o atleta se desvia da linha reta, a distância percorrida aumenta, mas o deslocamento retilíneo (relevante para o tempo final) permanece o mesmo.
- ❑ **Cálculo:** Posição Final–Posição Inicial.

## Velocidade (v)

A **velocidade** descreve quão rápido a posição muda. No desporto, distinguimos duas formas:

- **Velocidade Média:** É o que calculamos ao dividir os 100m pelo tempo total (ex: 10 segundos = 10 m/s). A tabela usa os recordes mundiais para mostrar que, embora a distância aumente, a velocidade média tende a diminuir devido à fadiga.
- **Velocidade Instantânea:** É a velocidade num milésimo de segundo. É crucial para identificar onde o atleta atinge o "pico de velocidade" (geralmente entre os 50 m e 70 m numa prova de 100 m).

**Quadro 5** As médias de rapidez e velocidade para seleccionados recordes mundiais no atletismo

<i>Distância (sexo)*</i>	<i>Recorde</i>	<i>Rapidez média (m/s)</i>	<i>Velocidade média † (m/s)</i>
200 m (F)	21,71	9,21	4,68
200 m (M)	19,72	10,14	5,16
400 m (F)	48,60	8,23	0
400 m (M)	43,86	9,12	0
800 m (F)	1:54,9	6,96	0
800 m (M)	1:42,4	7,81	0
1.500 m (F)	3:56,0	6,36	0,27
1.500 m (M)	3:32,1	7,07	0,30
3.000 m (F)	8:27,2	5,92	0,20
5.000 m (M)	13:08,4	6,34	0,13
10.000 m (M)	27:22,5	6,09	0

\*F e M se referem a feminino e masculino, respectivamente.

†A velocidade, como o deslocamento, possui uma magnitude e uma direção; contudo, uma vez que as direções não são de interesse no presente caso, somente as magnitudes são apresentadas aqui.

## Aceleração (a)

A **aceleração** é a variação da velocidade ao longo do tempo.

- **Aceleração Positiva:** Ocorre na saída dos blocos, onde o atleta tenta aumentar a velocidade o mais rápido possível.
- **Aceleração Zero:** Quando o atleta atinge a sua velocidade máxima e a mantém constante (mesmo que por breves segundos).
- **Aceleração Negativa (Desaceleração):** Visível no final das provas de resistência ou quando um corredor coloca o pé muito à frente do centro de gravidade (pág. 169), criando uma força de travagem que reduz a velocidade.

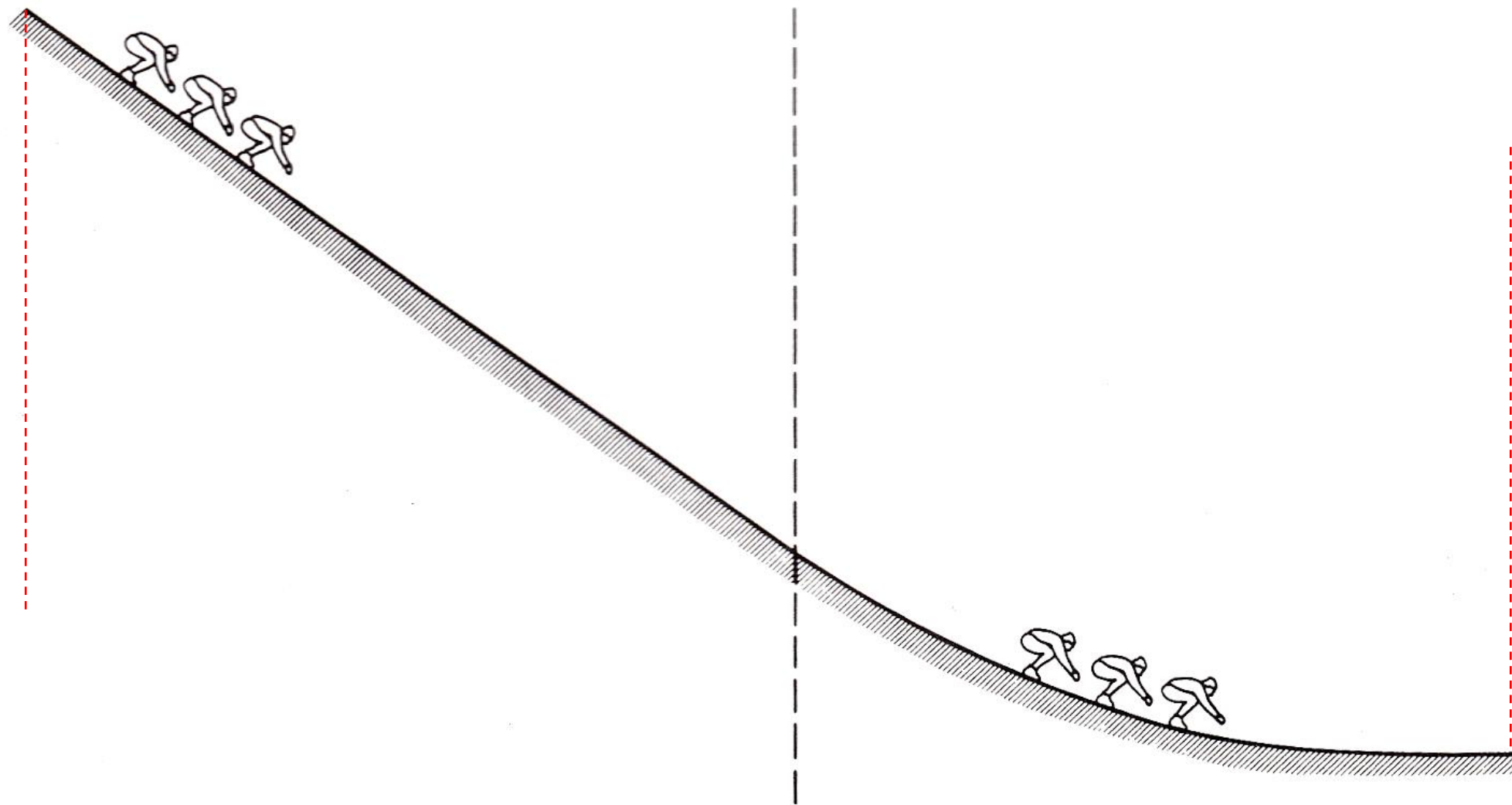
## Exemplo Prático: O Esquiador

O documento utiliza o exemplo de um **esquiador de salto** para ilustrar estes conceitos:

1. **Posição:** No topo da rampa de lançamento.
2. **Aceleração:** Ao iniciar a descida, a gravidade e a inclinação fazem a velocidade aumentar rapidamente.
3. **Velocidade:** Aumenta de forma constante enquanto o movimento for puramente retilíneo e a resistência do ar for minimizada.
4. **Deslocamento:** É a medida da rampa percorrida até ao momento do salto.

*Movimento linear*

*Movimento não-linear*



# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

## **2.2. CINÉTICA**

### Causas do Movimento

# FORÇAS EXTERNAS

## **2.2.1. CINÉTICA LINEAR**

Estuda forças que causam translação.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Interpretar as transferências de energia como trabalho em sistemas mecânicos, analisando situações de movimento do ponto de vista energético.

Para interpretar as transferências de energia como **trabalho (W)** em sistemas mecânicos no desporto, devemos analisar como a aplicação de uma força sobre um corpo resulta em movimento ou mudança de estado energético.

### O Conceito de **Trabalho Mecânico (W)**

O **trabalho** é a medida da energia transferida por uma força. Para que haja trabalho do ponto de vista mecânico, é necessário que ocorra um deslocamento na direção da força aplicada.

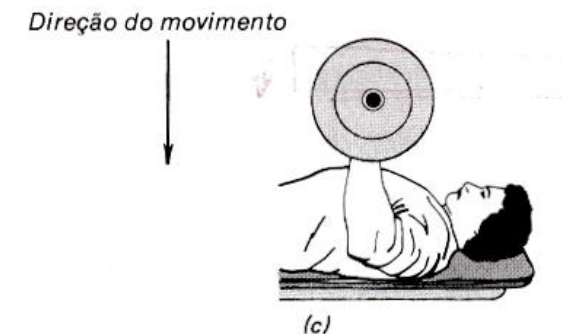
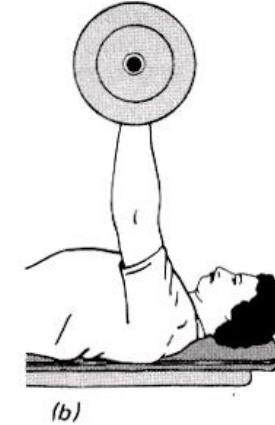
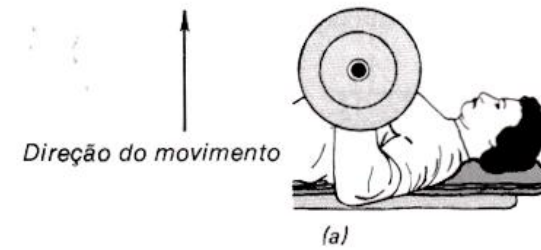
$$\text{Fórmula: } W = F \times d \times \cos(\theta)$$

F: Força aplicada (em Newtons).

d: Deslocamento (em metros).

$\theta$ : Ângulo entre a força e o deslocamento.

No Desporto: Quando um halterofilista levanta uma barra, ele realiza um **trabalho positivo** porque a força (para cima) tem a mesma direção que o deslocamento. Quando ele controla a descida da barra, a força continua a ser para cima (para travar), mas o deslocamento é para baixo, resultando em **trabalho negativo**.



- a) um trabalho positivo é realizado quando a barra de pesos é elevada.
- b) um trabalho nulo é realizado quando a barra é mantida suspensa.
- c) um trabalho negativo é realizado quando a barra é abaixada.

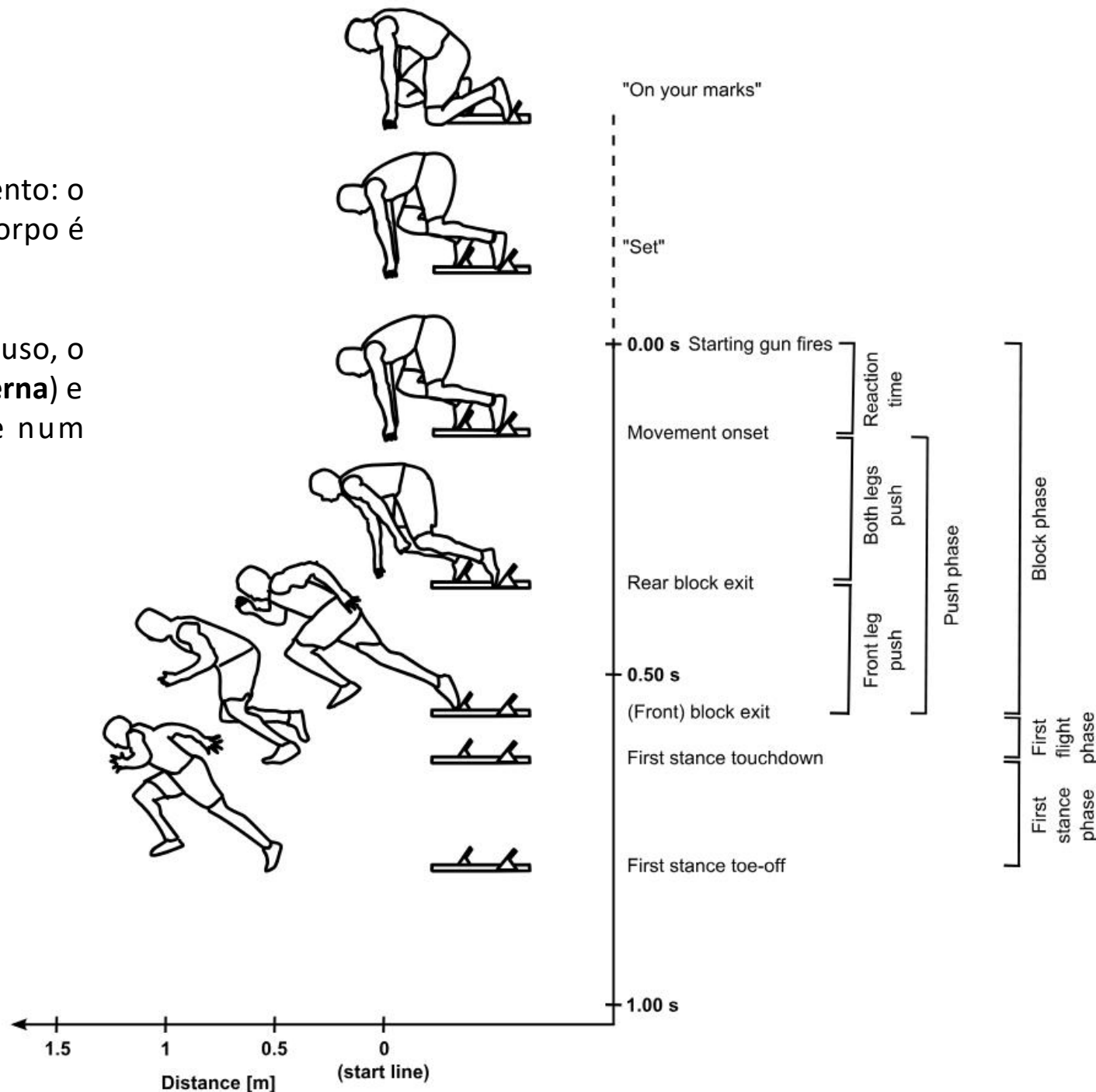
## Teorema do Trabalho-Energia

Este teorema é fundamental para analisar o movimento: o trabalho realizado pela força resultante sobre um corpo é igual à variação da sua **Energia Cinética (Ec)**.

- **Aplicação Prática:** Se um **sprinter** parte do repouso, o trabalho realizado pelos seus músculos (**força interna**) e a reação do solo (**força externa**) traduz-se num aumento da sua energia cinética ( $\frac{1}{2}mv^2$ ).

Uma representação esquemática e definição dos eventos e fases associadas durante a partida do sprint, descritas através da terminologia aplicada de forma consistente ao longo desta revisão. As posições das imagens são dimensionadas para o deslocamento horizontal (horizontalmente).

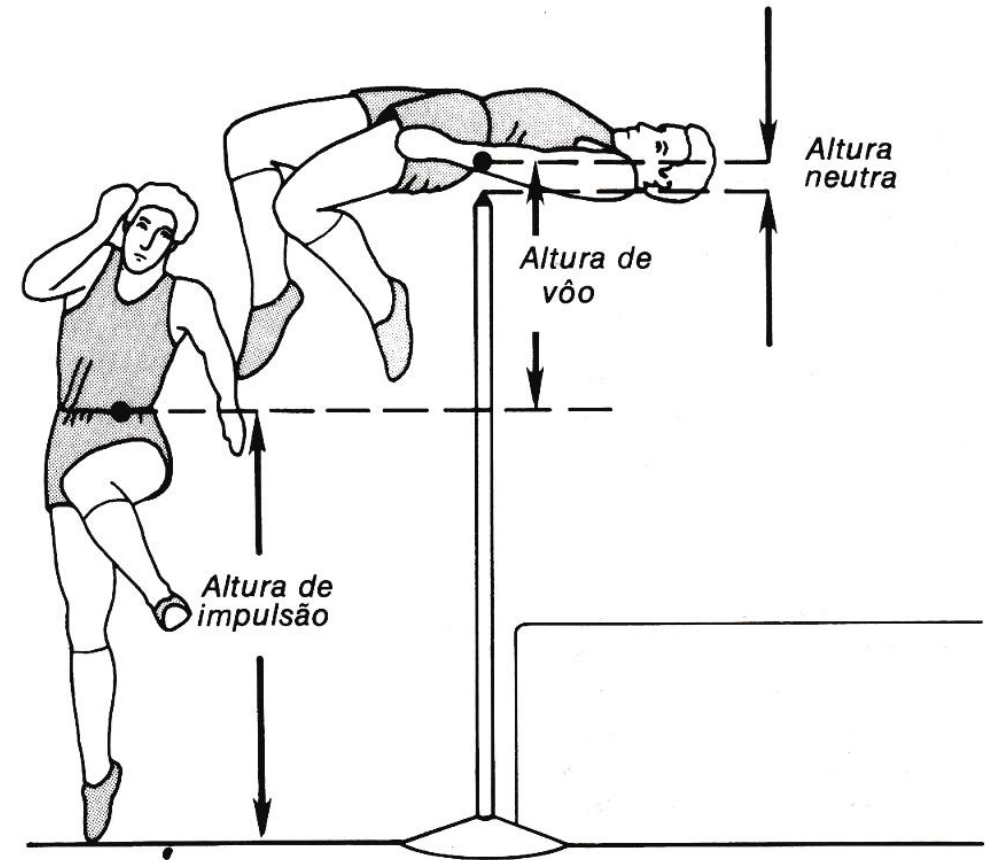
Neil Edward Bezodis, Steffen Willwacher, Aki Ilkka Tapio Salo. *The Biomechanics of the Track and Field Sprint Start: A Narrative Review*. Vol.:(0123456789)Sports Medicine (2019) 49:1345–1364



# Energia Potencial e Conservação

Em situações como o **salto em altura** ou o exemplo do esquiador mencionado:

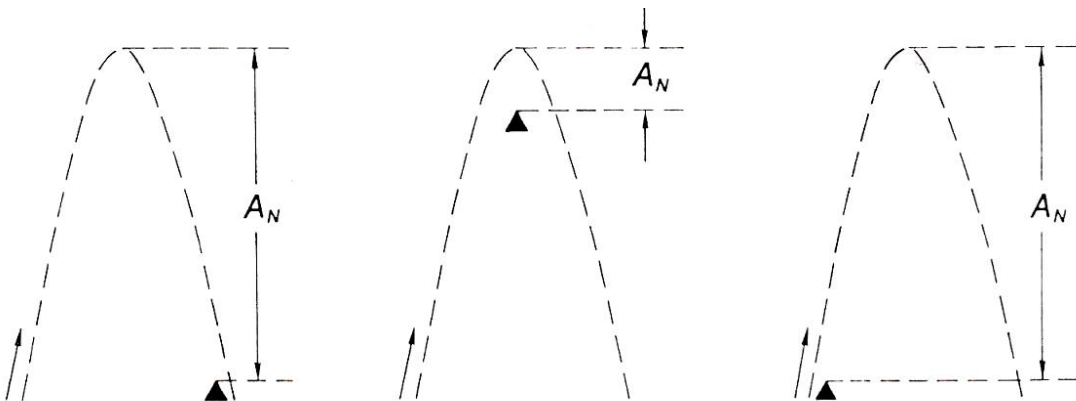
- **Energia Potencial Gravítica (Ep):** Relacionada com a altura ( $h$ ) do atleta ( $E_p = m \times g \times h$ ). [ $m$ : massa;  $g$ : gravidade;  $h$ : altura]
- **Transferência:** Na descida do esquiador, a energia potencial é convertida em energia cinética através do trabalho da força da gravidade.
- **Energia Potencial Elástica:** Muito importante no salto com vara ou na fase de amortecimento de uma corrida, onde os tendões e músculos armazenam energia ao serem deformados e a libertam como trabalho na fase de impulsão.

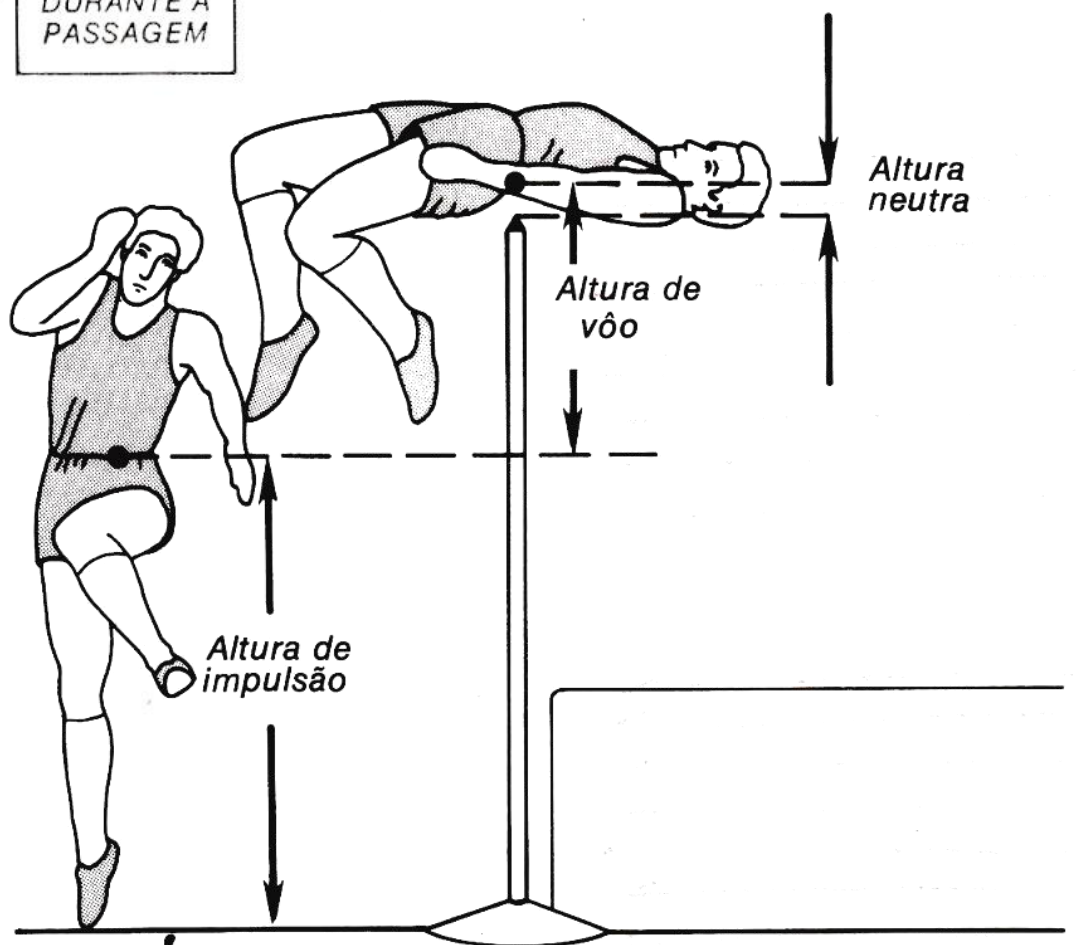
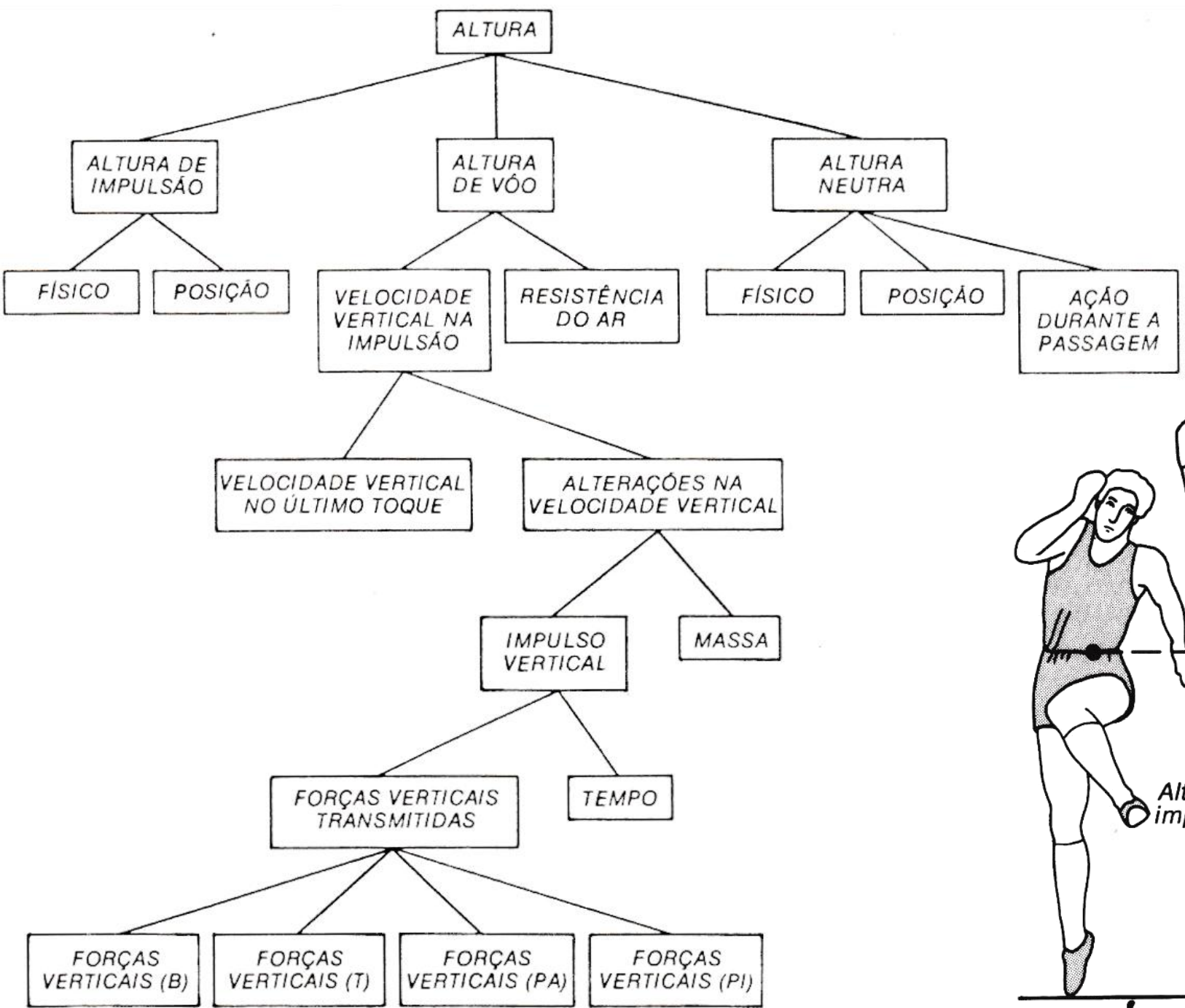


A altura saltada no salto em altura pode ser dividida em alturas de impulsão, de voo e de passagem (neutra).

James G. Hay and J. Gavin Reid. *As bases anatómicas e Mecânicas do Movimento HUmano*. Prentice/Hall do Brasil.

Altura Neutra no salto em altura ( $A_N$ ) é influenciada pelo relacionamento entre a trajetória do centro de gravidade do saltador (- - -) e o sarrafo ( $\blacktriangle$ ). A altura e a forma da trajetória - ditada pela altura, rapidez e ângulo de impulsão - são as mesmas nos três casos.





## Potência Mecânica (P)

A potência é a rapidez com que o trabalho é realizado ou a energia é transferida.

□ **Fórmula:**  $P = \frac{W}{\Delta t}$  ou  $P = F \times v$

□ **Análise Biomecânica:** Um atleta potente não é apenas aquele que consegue gerar muita força, mas aquele que consegue aplicá-la a altas velocidades. No ciclismo, a potência é medida em Watts e indica o quão eficientemente o atleta transfere energia para os pedais por segundo.

## Situações de Movimento (Análise Energética)

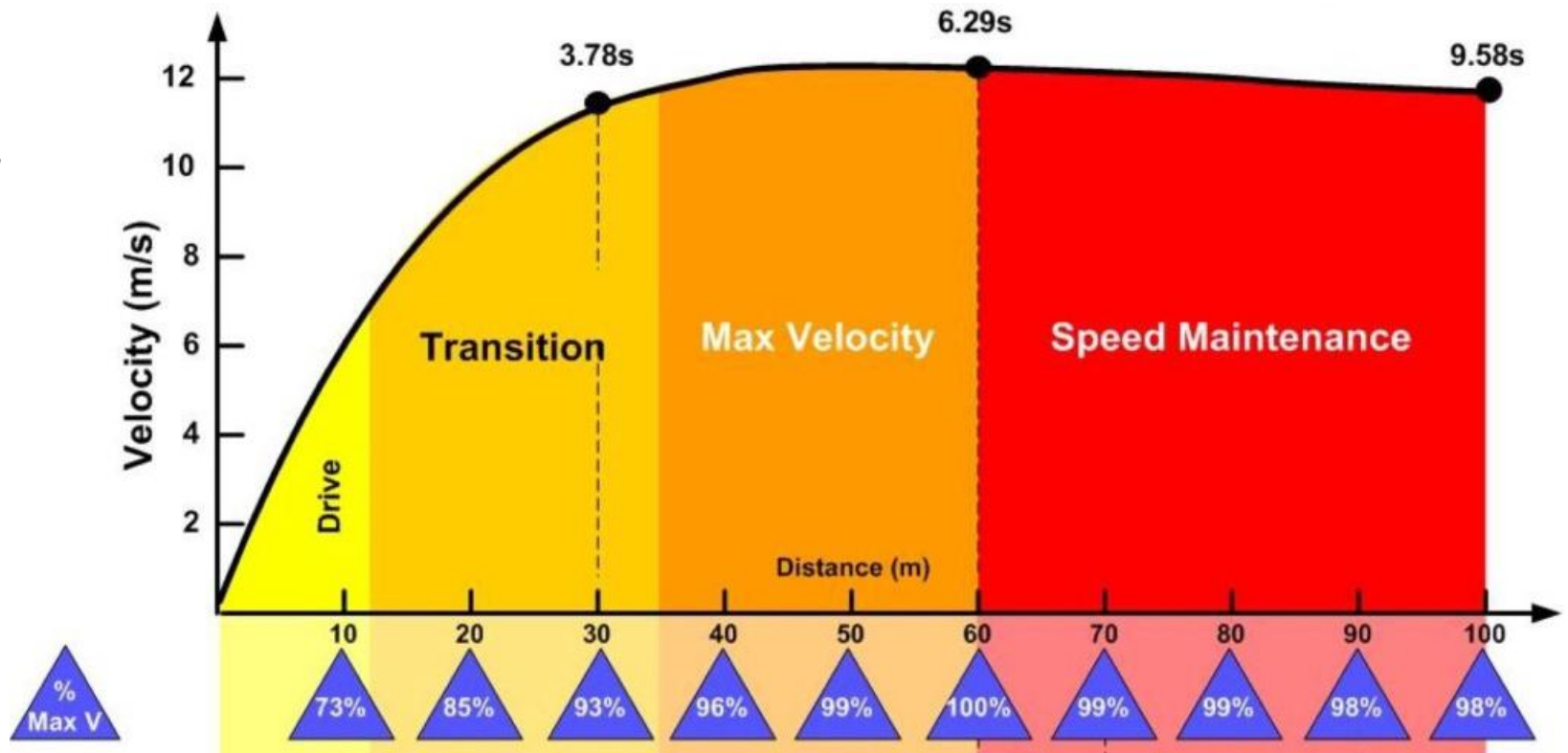
Ao analisar um movimento real, o técnico deve observar:

- **Ganhos de Energia:** Onde é que o atleta está a aplicar força para aumentar a velocidade? (**Trabalho motor**).
- **Dissipação de Energia:** Onde é que a energia se perde por atrito ou resistência do ar? (**Trabalho resistente**).
- **Eficiência:** De que forma o posicionamento do corpo minimiza o trabalho necessário para vencer a resistência, permitindo que mais energia seja usada para o deslocamento pretendido?

### Exemplo do Corredor:

Um posicionamento incorreto do pé (muito à frente do centro de gravidade) gera uma força de reação do solo que realiza um **trabalho negativo**, retirando energia cinética ao corredor e obrigando-o a gastar mais energia metabólica para recuperar a velocidade perdida.

Modelo da corrida de 100 m baseado no resultado de 9,58 s obtido por Usain Bolt na prova dos 100 metros em Berlin



Este gráfico, elaborado pela Federação Inglesa de Atletismo em 2010, mostra a velocidade de Usain Bolt durante a sua corrida que lhe valeu o recorde mundial em Berlin, em 2009. A sua velocidade máxima é atingida por volta dos 60 metros da partida. O gráfico mostra também a distribuição das fases da corrida e em que momentos atinge a sua velocidade máxima, em percentagem.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Relacionar as forças que atuam em corpos em interação com base na **Terceira Lei de Newton**, identificando e representando essas forças.

Para relacionar as forças que atuam em corpos em interação com base na **Terceira Lei de Newton (Lei da Ação-Reação)**, os princípios da biomecânica estabelecem que as forças nunca aparecem isoladas, mas sim em pares.

Aqui está a explicação detalhada de como identificar e representar estas forças em situações reais:

### O Princípio da Terceira Lei de Newton

Para cada força que um corpo exerce sobre outro (ação), existe sempre uma força de igual intensidade e direção, mas de sentido oposto, que o segundo corpo exerce sobre o primeiro (reação).

**Importante:** Estas forças atuam em corpos diferentes, por isso nunca se anulam entre si no mesmo objeto.

## Identificação de Forças em Interação (Exemplos Reais)

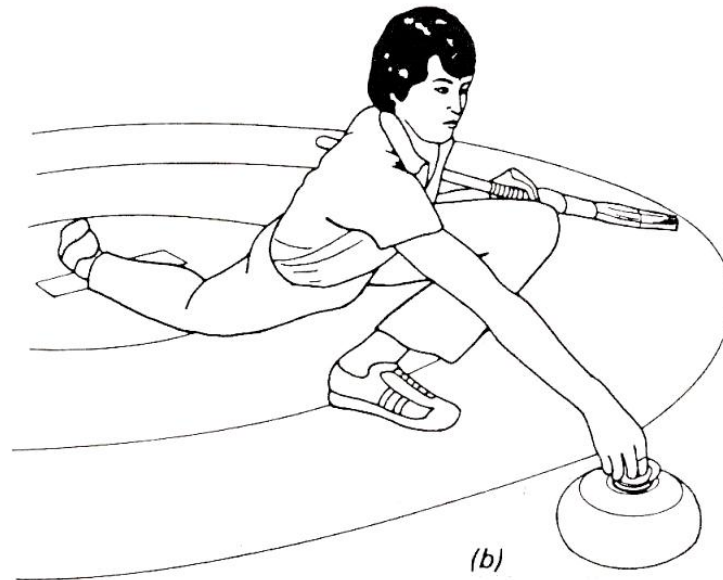
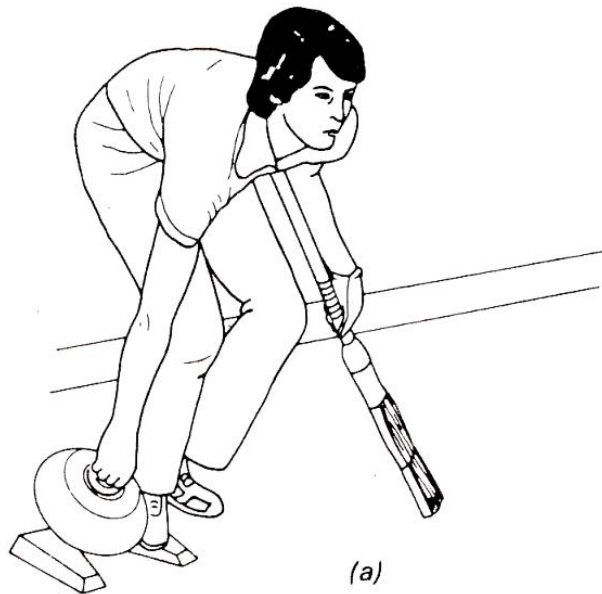
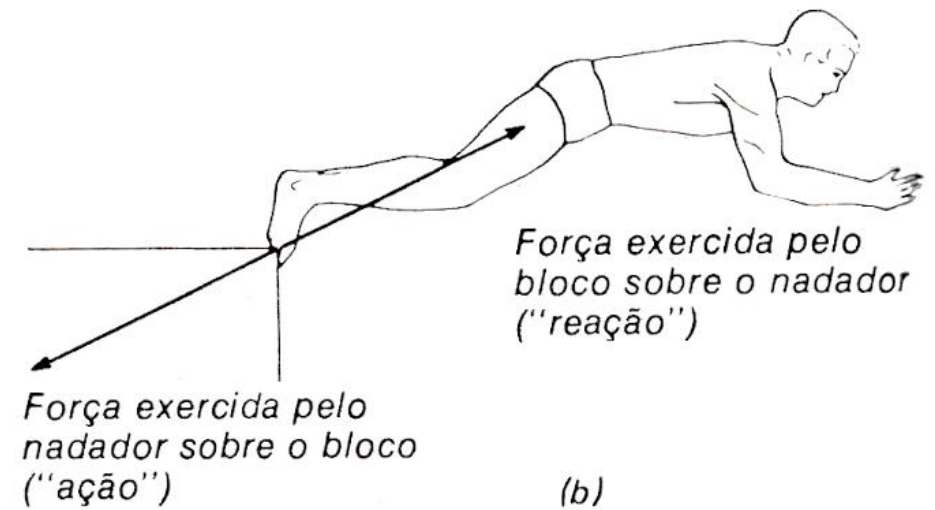
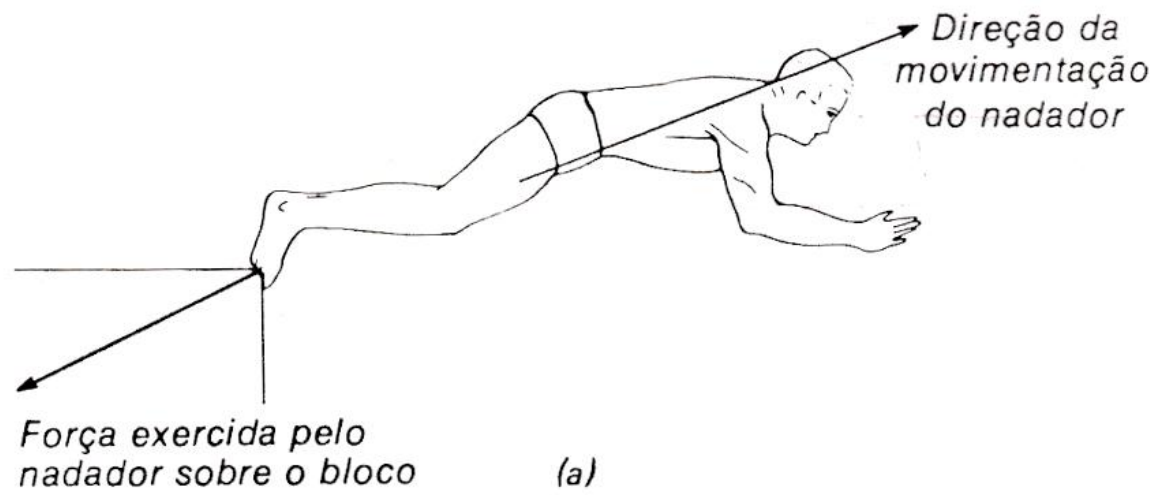
### A. O Corredor e o Solo

Esta é a interação mais comum na análise do movimento.

- Ação:** O pé do corredor exerce uma força sobre o solo, empurrando-o para baixo e para trás.
- Reação:** O solo exerce uma força de igual intensidade sobre o pé do corredor, empurrando-o para cima e para a frente. Esta é a Força de Reação do Solo (FRS), que permite a locomoção.

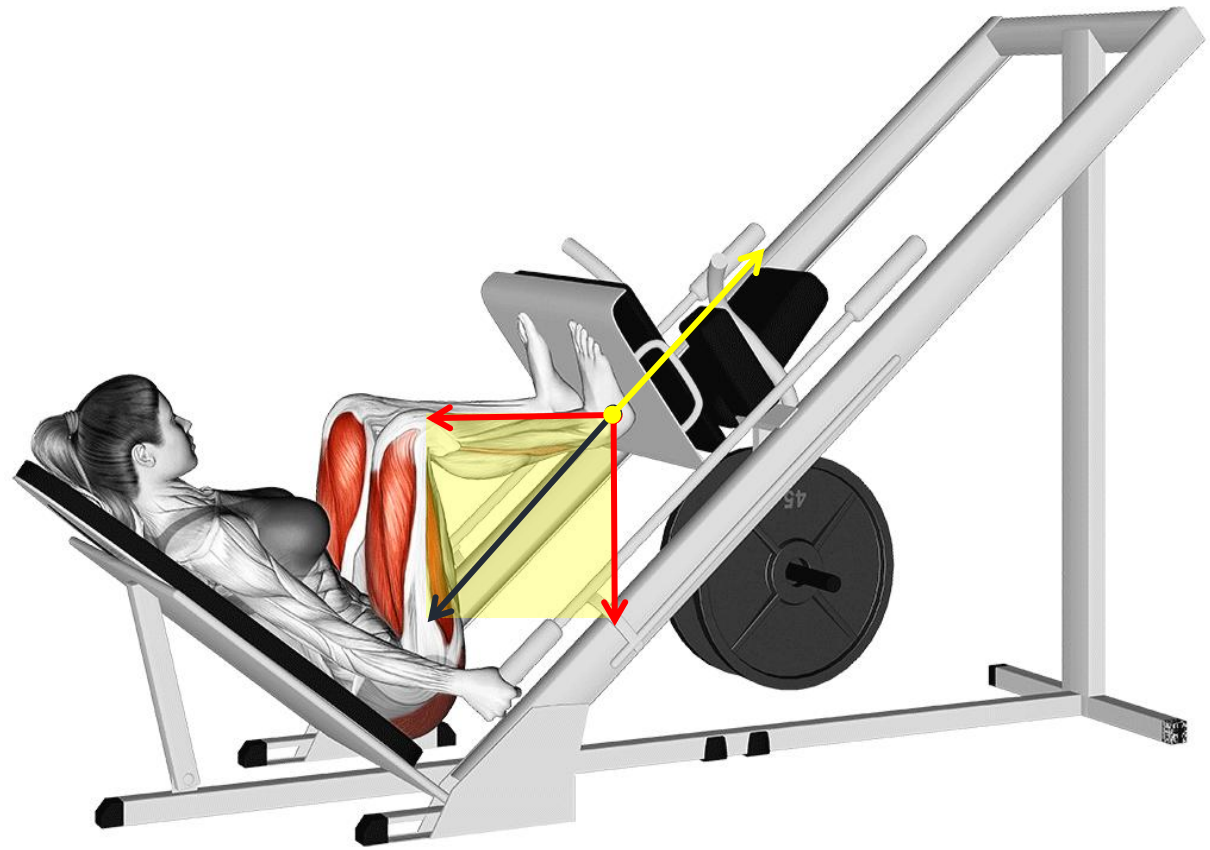
### B. Natação ou Remo

- Ação:** O atleta (ou o remo) exerce uma força sobre a água, empurrando-a para trás.
- Reação:** A água exerce uma força sobre o atleta/remo, impulsionando-o para a frente.



**NADADOR:** Quando um nadador realiza uma impulsão contra o bloco de partida, ao início de uma competição, ele exerce uma força em direção inferior e posterior. Como resultado desta ação de impulsão, o seu corpo é projetado numa direção superior e anterior. Desta forma, o nadador é acelerado numa direção, quando exerce uma força em direção oposta.

Forças externas eventualmente levam o jogador e a pedra até à situação de repouso.



## Representação das Forças (Vetores)

Ao analisar um documento técnico ou vídeo, a representação deve seguir estas regras:

- Ponto de Aplicação:** Cada força deve ser desenhada a partir do corpo que sofre a ação.
- Direção:** As forças devem estar na mesma linha reta.
- Sentido:** As setas (vetores) devem apontar em direções opostas.
- Intensidade:** O comprimento das setas deve ser idêntico para representar que os valores (em Newtons) são iguais.

## Ação-Reação e Eficiência.

Deve-se destaca um ponto crítico sobre o posicionamento:

- Se o corredor "ataca" o solo com o pé muito à frente do seu centro de gravidade, a **Força de Reação do Solo** terá uma componente para trás muito grande.
- De acordo com a Terceira Lei, o solo "reage" contra o pé no sentido oposto ao movimento, criando uma **força de travagem**.
- Consequência:** Isto retira energia cinética ao atleta e diminui a eficiência, obrigando-o a gastar mais energia para voltar a acelerar.

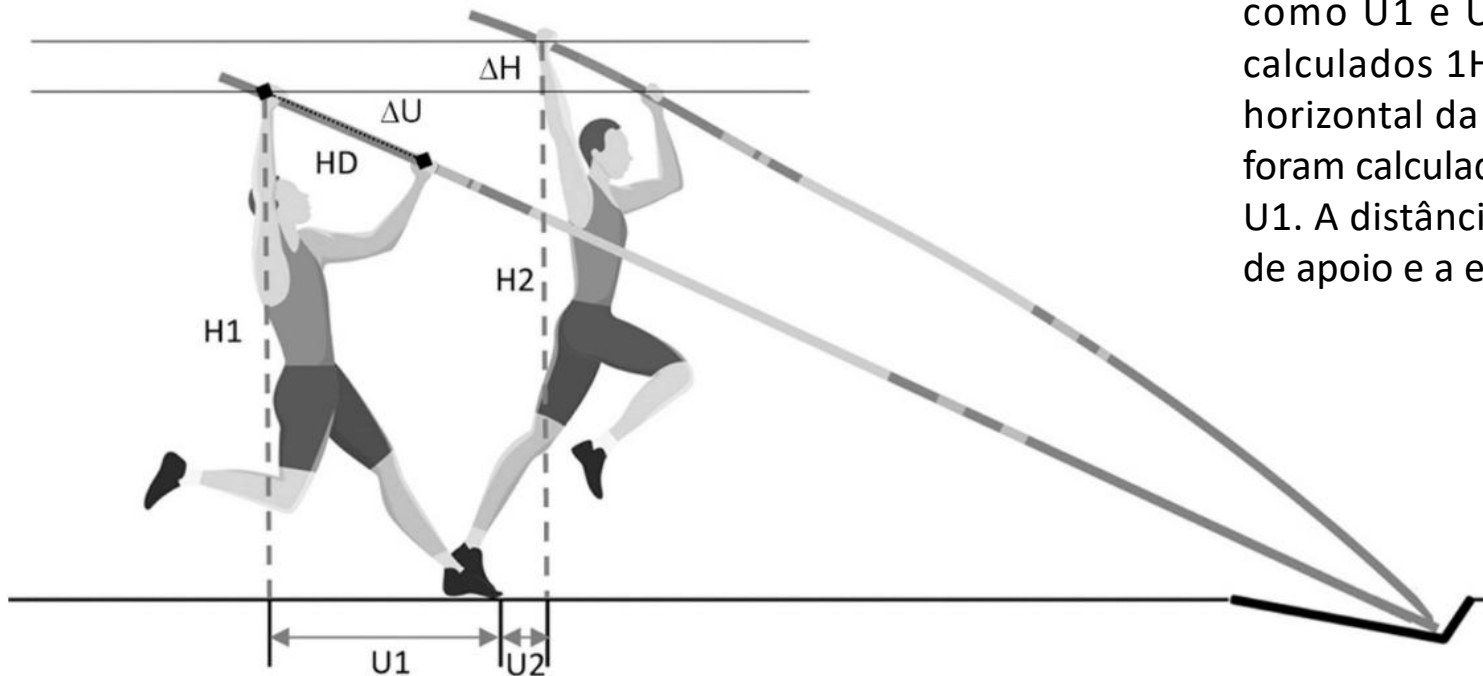
## Interação com Equipamentos (Ex: Salto com Vara ou Ginástica)

- No **Salto com Vara**, o atleta exerce força sobre a vara (ação), deformando-a. A vara reage com uma força igual sobre o atleta (reação), projetando-o para cima.
- Nas **Plataformas de Força** (mencionadas na página 3), o equipamento mede precisamente a força que o atleta faz sobre ela, sabendo que essa é exatamente a força que o atleta recebe de volta para realizar o salto.

### Descrição da análise da posição de descolagem:

A **posição 1** ocorreu quando o atleta estava em contacto com o solo no instante do encaixe da vara na caixa.

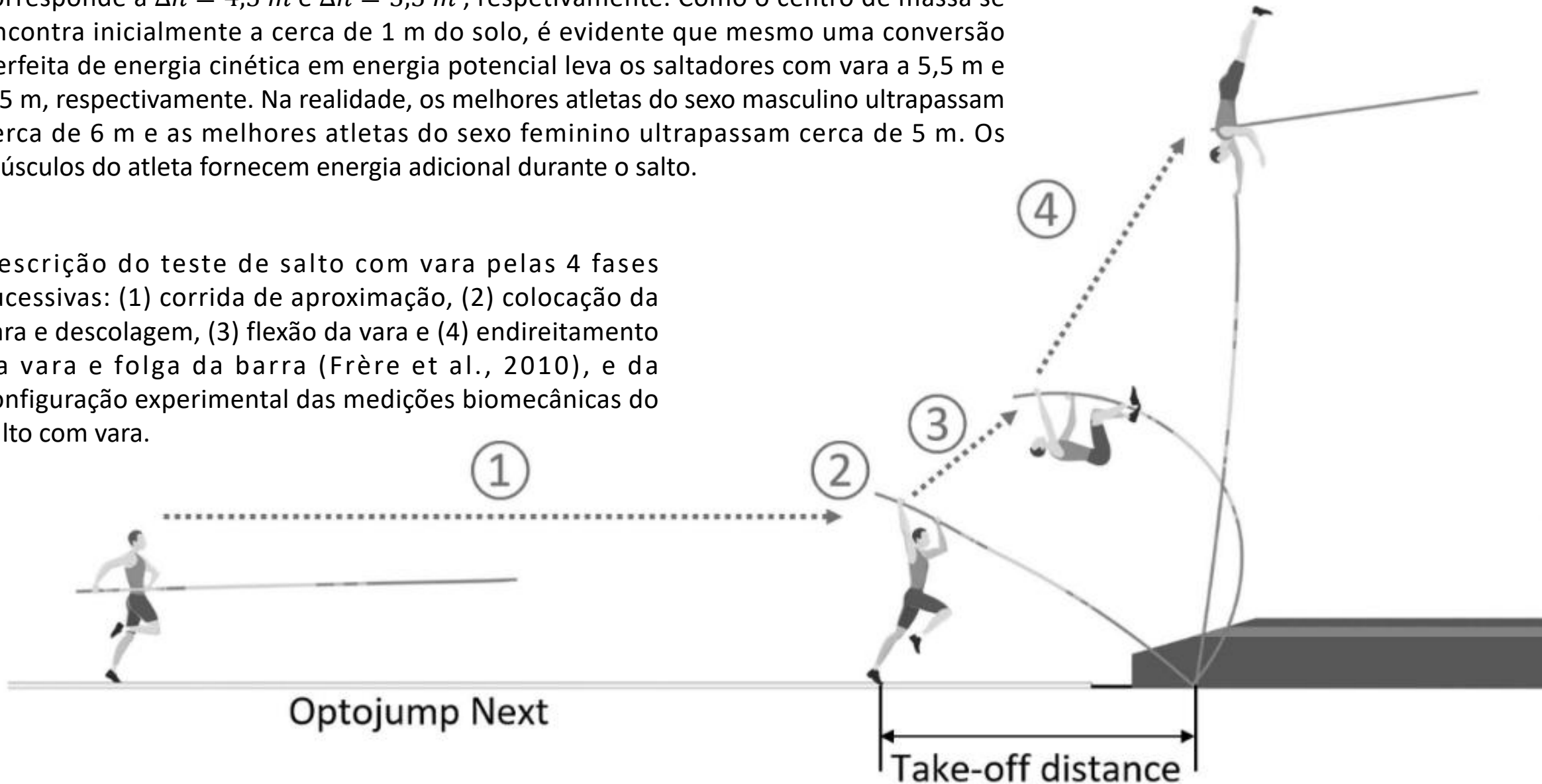
A **posição 2** ocorreu no instante em que o atleta descolou do solo. Em ambas as posições, a altura da mão de apoio (superior) em relação ao solo foi medida e registada como  $H1$  e  $H2$  para as posições 1 e 2, respetivamente. Além disso, a distância antero-posterior entre a mão de apoio e os dedos do pé de descolagem foi calculada nas duas posições e registada como  $U1$  e  $U2$ . A partir destas quatro medições, foram calculados  $1H$  e  $1U$  para obter os deslocamentos vertical e horizontal da mão de apoio entre as duas posições.  $1H$  e  $1U$  foram calculados da seguinte forma:  $1H = H2 - H1$  e  $1U = U2 - U1$ . A distância entre as mãos ( $HD$ ) e a distância entre a mão de apoio e a extremidade da vara foram também medidas.



Edouard P, Sanchez H, Bourrilhon C, Homo S, Frère J and Cassirame J (2019) Biomechanical Pole Vault Patterns Were Associated With a Higher Proportion of Injuries. Front. Sports Act. Living 1:20. doi: 10.3389/fspor.2019.00020

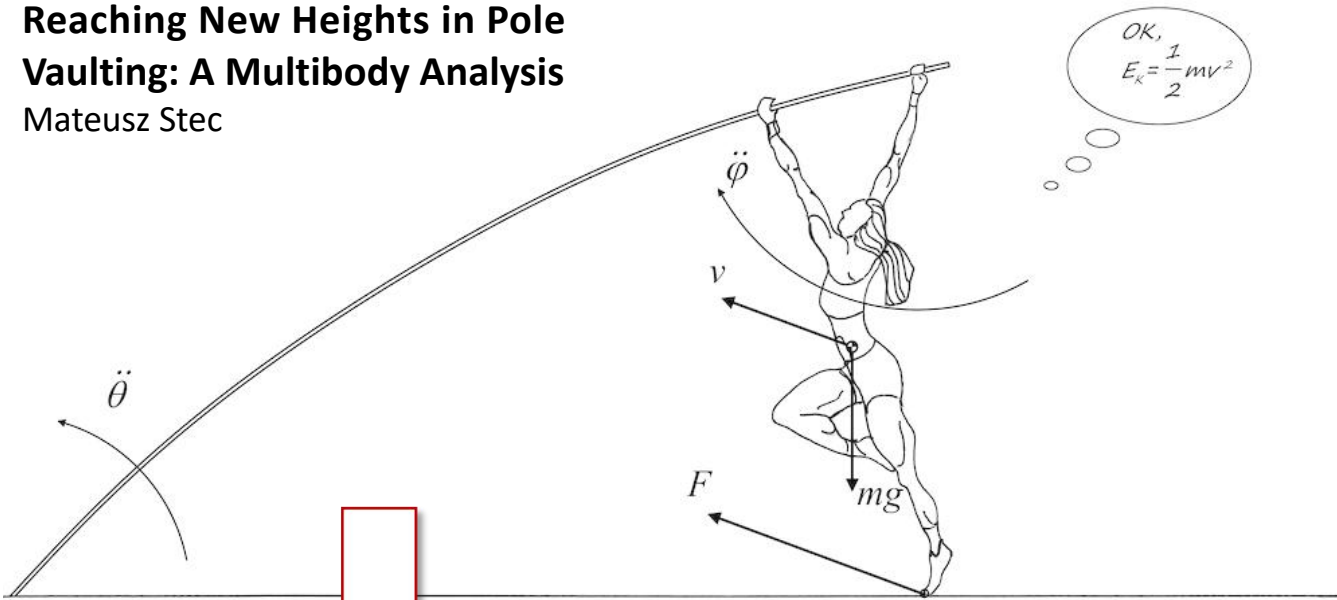
Um atleta de elite do sexo masculino pode atingir 9,5 m/s durante a corrida de aproximação, enquanto uma atleta de elite do sexo feminino pode atingir 8,4 m/s. Isto corresponde a  $\Delta h = 4,5 \text{ m}$  e  $\Delta h = 3,5 \text{ m}$ , respectivamente. Como o centro de massa se encontra inicialmente a cerca de 1 m do solo, é evidente que mesmo uma conversão perfeita de energia cinética em energia potencial leva os saltadores com vara a 5,5 m e 4,5 m, respectivamente. Na realidade, os melhores atletas do sexo masculino ultrapassam cerca de 6 m e as melhores atletas do sexo feminino ultrapassam cerca de 5 m. Os músculos do atleta fornecem energia adicional durante o salto.

Descrição do teste de salto com vara pelas 4 fases sucessivas: (1) corrida de aproximação, (2) colocação da vara e descolagem, (3) flexão da vara e (4) endireitamento da vara e folga da barra (Frère et al., 2010), e da configuração experimental das medições biomecânicas do salto com vara.

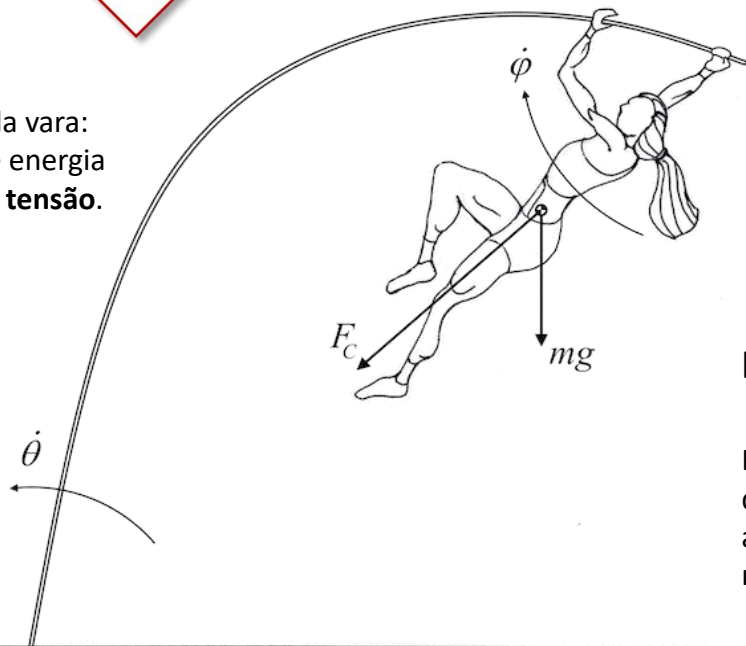


# Reaching New Heights in Pole Vaulting: A Multibody Analysis

Mateusz Stec



Deformação da vara:  
Acumulação de energia  
sob a forma de **tensão**.

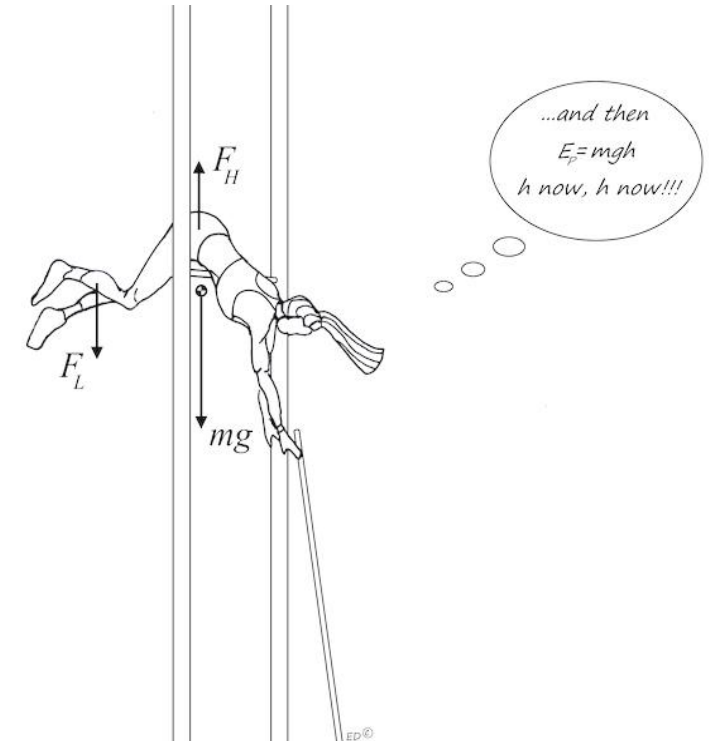
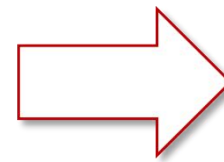


## Energia de tensão

É de maior importância nas atividades de EF e desportos nas quais a energia mecânica é armazenada num estágio da atividade e novamente utilizada no estágio seguinte

## Uma Breve Análise Energética

Numa análise simplificada do salto com vara, toda a **energia cinética** ( $E_k$ ) da corrida é transferida para **energia potencial** ( $E_p$ ) no momento da impulsão. A energia cinética é dada por  $E_k = \frac{mv^2}{2}$ . Aqui,  $m$  é a massa do atleta e  $v$  é a velocidade. A energia potencial, por sua vez, é  $E_p = mgh$ , em que  $g$  é a aceleração da gravidade e  $h$  é a altura da elevação. Uma conversão perfeita de energia resulta numa diferença máxima de altura alcançável para o centro de massa:  $\Delta h = \frac{v^2}{2g}$ .



# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Aplicar a **Segunda Lei de Newton** para um sistema de partículas a situações do dia a dia que envolvam a análise da intensidade da resultante das forças numa colisão em função do tempo de duração da mesma.

## Impulso:

Para aplicar a **Segunda Lei de Newton** (na sua forma relacionada com a quantidade de movimento ou momento linear) à análise de colisões, devemos focar no conceito de **Impulso**.

Em situações do dia a dia e no desporto, o objetivo é quase sempre manipular o **tempo de colisão** para controlar a intensidade da força resultante.

### A Segunda Lei de Newton e o Impulso

A Segunda Lei de Newton estabelece que a força resultante ( $F_{res}$ ) é igual à variação da quantidade de movimento ( $\Delta p$ ) dividida pelo tempo ( $\Delta t$ ): 
$$F_{res} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Numa colisão (como uma bola a atingir uma raquete ou um atleta a cair no solo), a variação da velocidade é geralmente fixa pela situação. O que podemos controlar é o tempo de contacto. Da fórmula, percebemos que a Força é inversamente proporcional ao tempo:

- Se o tempo de colisão for curto, a força resultante será muito alta.
- Se o tempo de colisão for longo, a força resultante será muito baixa.

## Aplicações Práticas (Sistemas de Partículas e Corpos)

### A. O Amortecimento na Queda ou Salto

Quando um atleta aterra após um salto (ex: ginástica ou basquetebol), ele flete os joelhos e as ancas.

- Análise:** Ao fletir as articulações, o atleta aumenta a distância e, conseqüentemente, o **tempo** que o seu centro de massa demora a parar totalmente.
- Resultado:** Como o  $\Delta t$  aumenta, a força de impacto (reação do solo) que os ossos e tendões suportam é drasticamente reduzida, prevenindo lesões.

### B. Materiais de Proteção (Capacetes, Tatamis, Luvas)

No boxe ou no karaté, as luvas e as proteções não "eliminam" a força, elas distribuem-na no tempo.

- Mecânica:** O material compressível da luva aumenta o tempo de impacto entre o punho e o alvo.
- Resultado:** A mesma variação de movimento ocorre num tempo maior, resultando numa força de pico menor sobre o corpo do adversário.

## C. Receção de uma Bola (Andebol ou Futebol)

Ao receber uma bola com as mãos ou o pé, o atleta "acompanha" o movimento da bola para trás.

- Análise:** Este gesto técnico serve para aumentar o tempo de interação entre o corpo e a bola.
- Resultado:** Reduz a força de impacto inicial, facilitando o controlo e evitando que a bola ressalte descontroladamente devido a uma força de reação excessiva e instantânea.

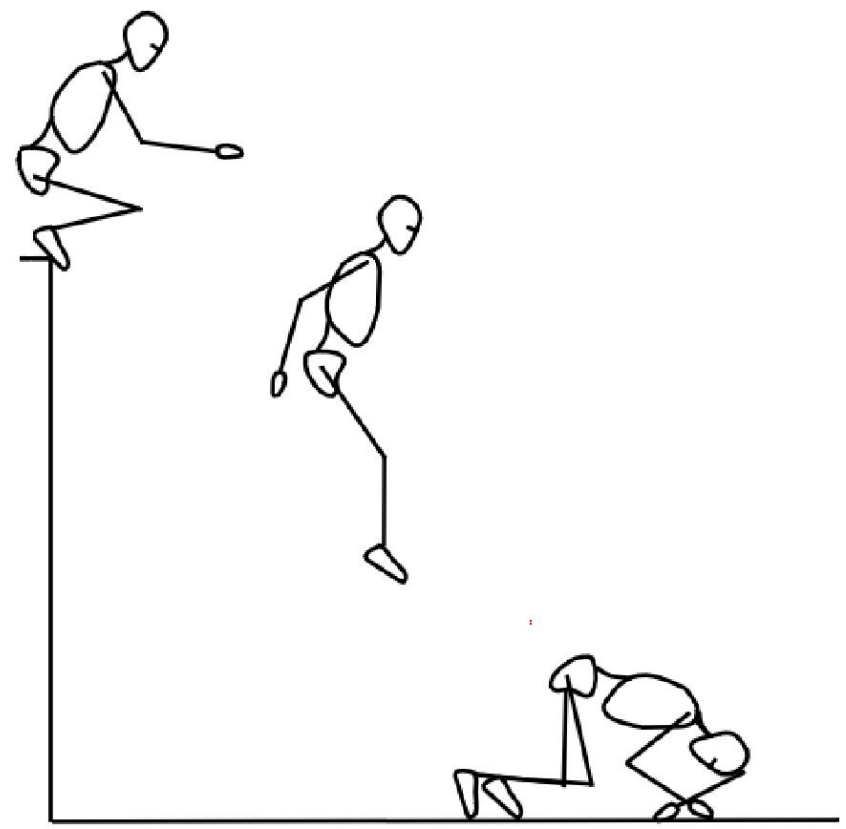
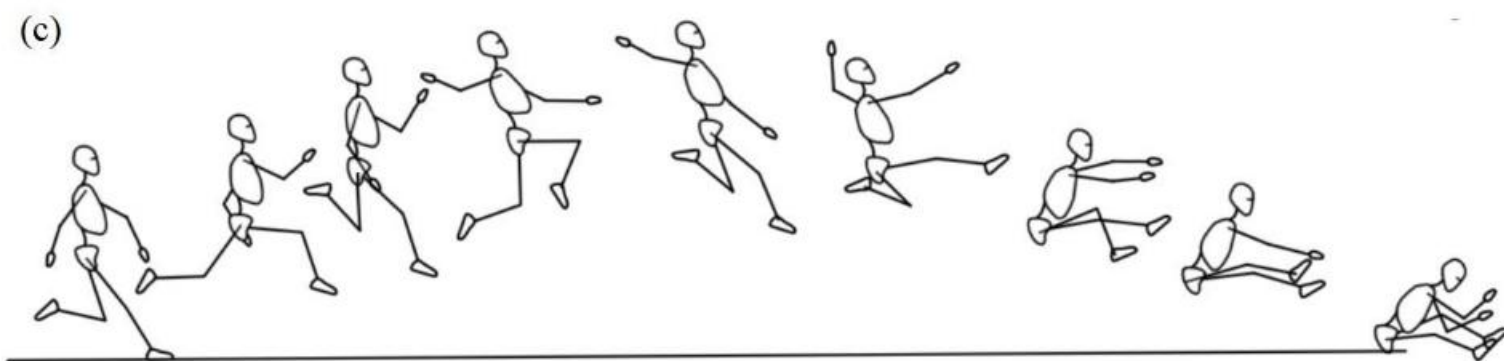
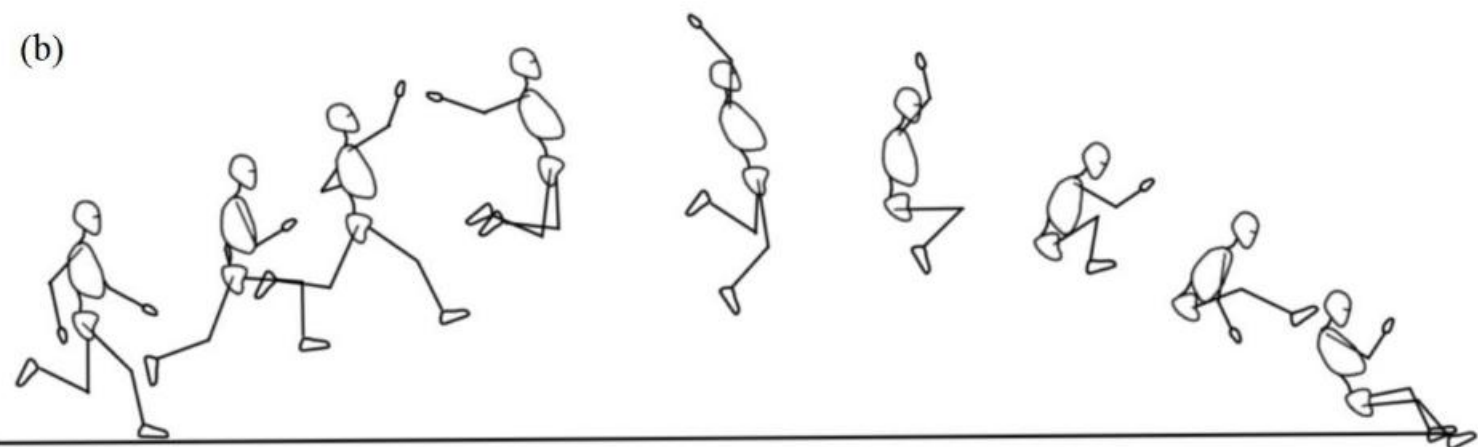
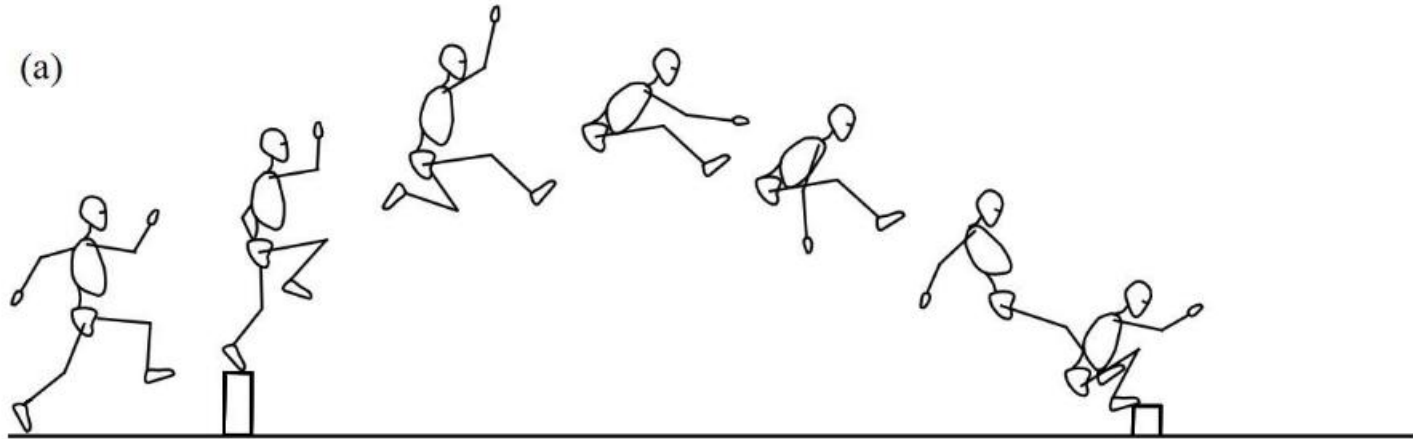
## Representação e Interpretação de Gráficos Força-Tempo

Num relatório técnico do Módulo 4, ao analisar uma colisão por vídeo ou sensores, deves interpretar o gráfico da seguinte forma:

- Área sob a curva:** Representa o Impulso total (a mudança na velocidade do objeto).
- Pico da curva:** Representa a força máxima atingida.
- Largura da base:** Representa a duração do impacto.

### Conclusão para a análise de movimento:

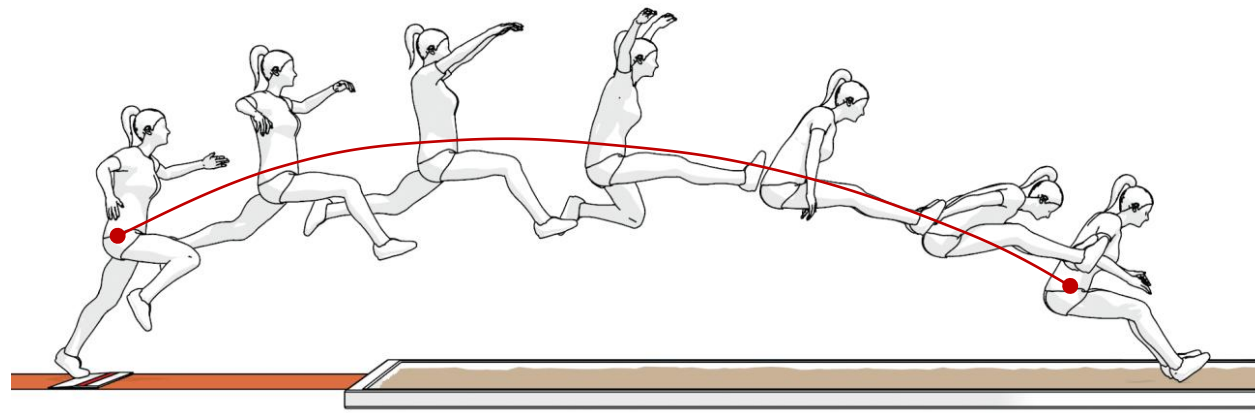
No desporto, a eficácia técnica está muitas vezes ligada à capacidade de manipular este tempo. A "ação faltosa" do corredor, um impacto mal gerido (tempo demasiado curto ou posição errada) cria forças de travagem desnecessárias que prejudicam a performance.



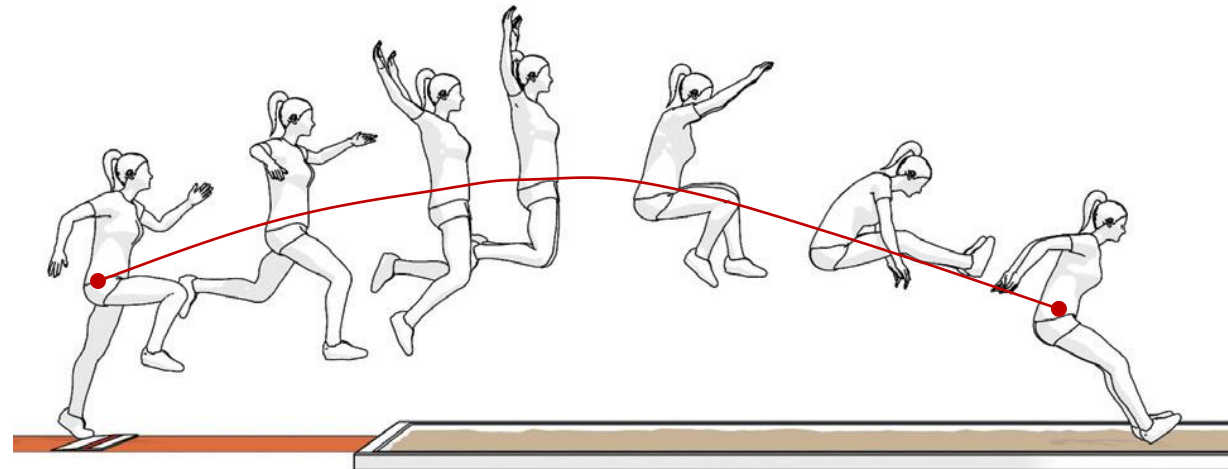
Queda e rolamento → dissipar energias

- (a) Técnica de precisão na corrida de parkour,
- (b) Técnica do salto em extensão no salto em comprimento,
- (c) Técnica de salto de tesoura no salto em comprimento

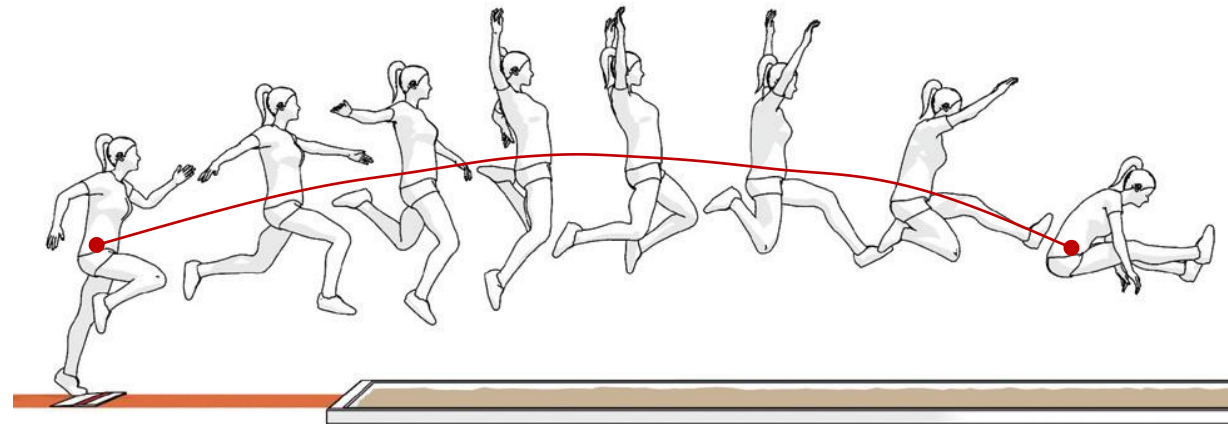
Técnica de salto na passada



Técnica do salto em extensão



Técnica do salto de tesoura



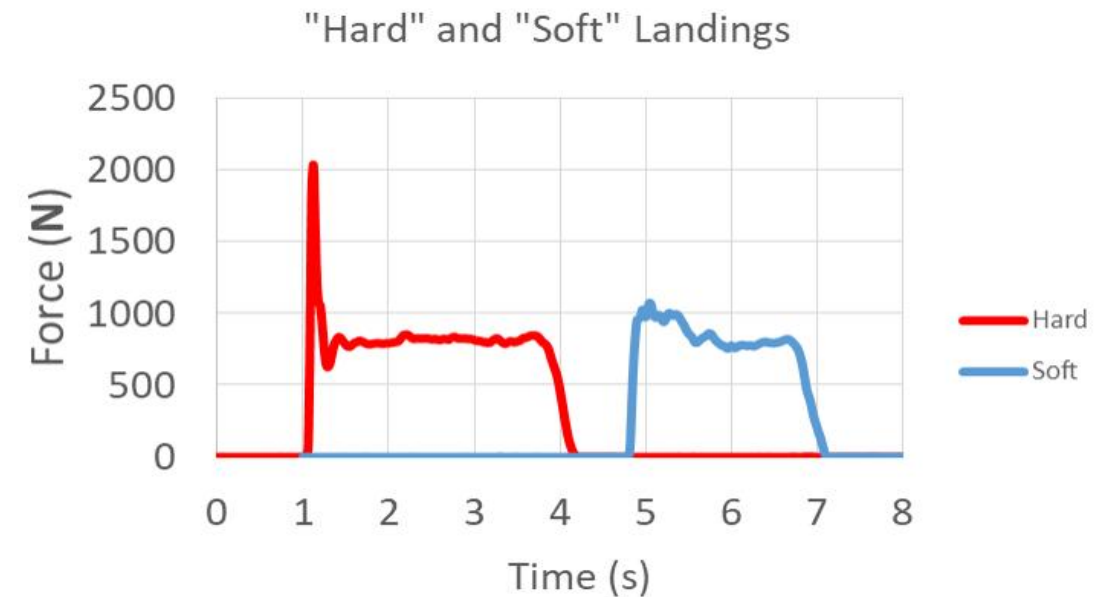
Os gráficos de força versus tempo mostram a força normal aplicada à pessoa que aterriza com um pé após saltar de uma altura de 0,1 m. O gráfico da esquerda representa a aterragem com a perna mais rígida (a sensação não foi boa) e o gráfico da direita representa a aterragem com o joelho fletido.

#### Análise:

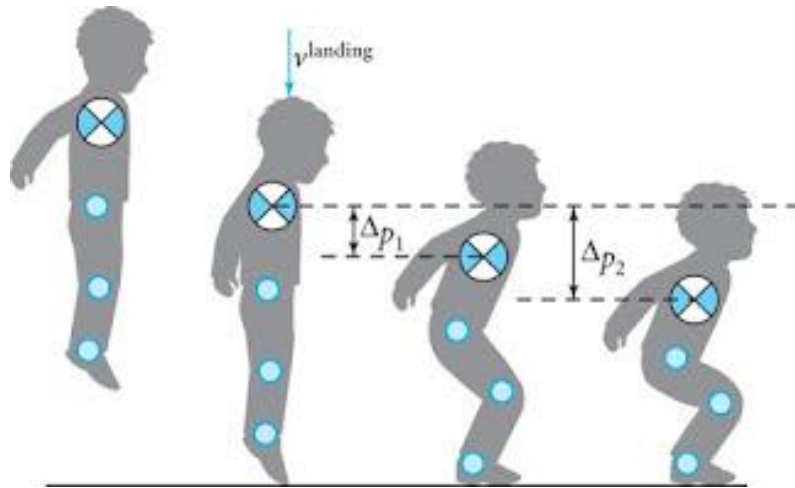
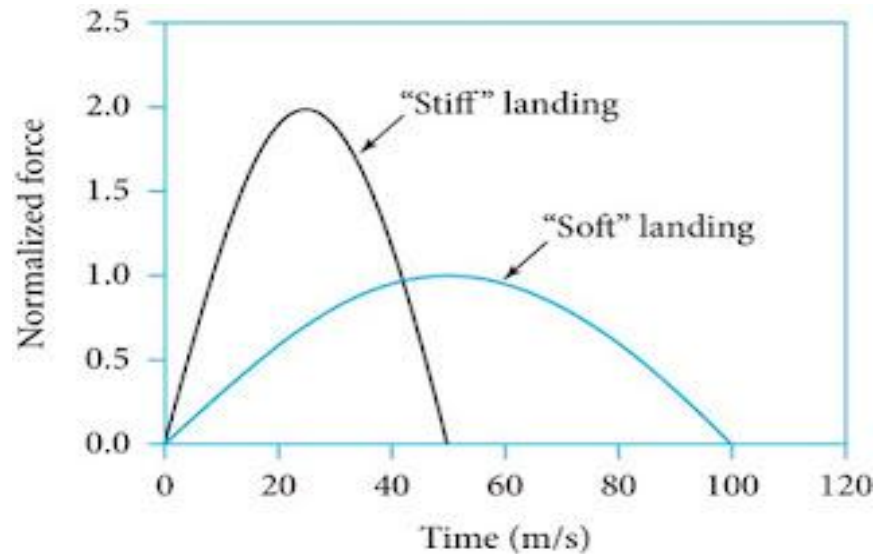
- ❑ **Stiff Landing** (Aterragem Rígida): Uma curva com um pico de força (GRF - Ground Reaction Force) muito alto e estreito, ocorrendo logo nos primeiros milissegundos.
- ❑ **Soft Landing** (Aterragem Suave): Uma curva onde o pico é muito mais baixo e a base da curva é mais larga, demonstrando como a flexão das articulações "espalha" a força no tempo.



Conforme demonstrado em estudos de biomecânica de impacto, a manipulação do tempo de colisão através da flexão articular reduz a força de pico. No gráfico Força-Tempo, isto é visível pelo alargamento da base da curva e achatamento do seu pico, mantendo o impulso (área sob a curva) necessário para travar o corpo.



Dados de força versus tempo para uma aterragem com as pernas estendidas (vermelho) e uma aterragem agachada (azul). Note-se que a aterragem "dura" com as pernas rígidas quase duplicou a força máxima aplicada ao corpo.



No gráfico (Flannagan, S., 2014), o impulso para a aterragem "rígida" e para a aterragem "suave" é o mesmo, mas a quantidade de força que o saltador precisa de absorver numa aterragem "rígida" é o dobro da força numa aterragem "suave".

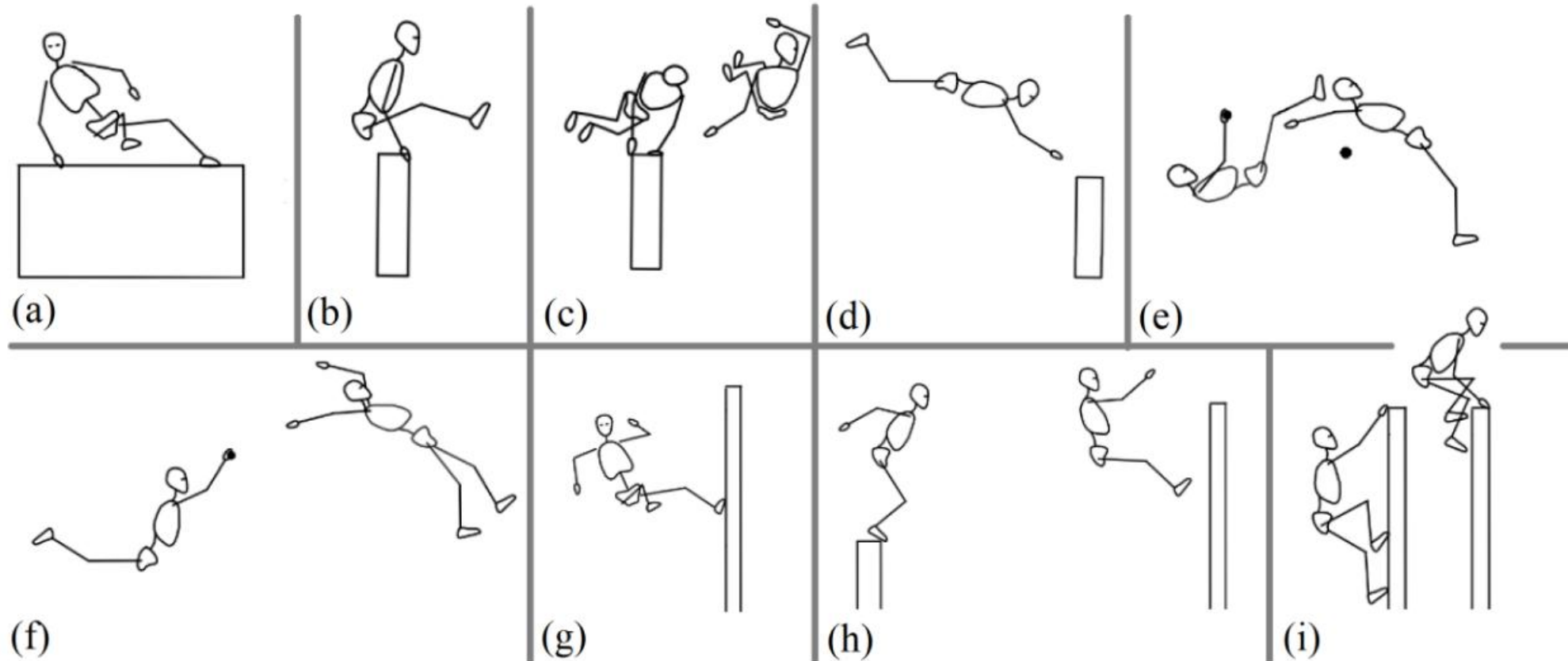
Então, o que é um pouso "rígido" e o que é um pouso "suave"?

- Numa **aterragem "rígida"**, as articulações dos membros inferiores, principalmente as ancas, os joelhos e os tornozelos, permanecem numa posição mais estendida e não cedem, nem flectem, no momento do pouso. Isto significa que a força de reação do solo é aplicada num período de tempo muito curto.
- Numa **aterragem "suave"**, a pessoa flete as ancas, os joelhos e os tornozelos (tecnicamente dorsiflexão dos tornozelos) ao aterrar para aumentar o tempo durante o qual a força de reação do solo é aplicada. Isto resulta numa menor quantidade de stresse nos membros inferiores. Por isso, é importante ensinar os jovens atletas a realizar uma aterragem suave, fletindo as articulações dos membros inferiores ao tocar no solo (segunda figura abaixo).

## How is parkour new and singular? A narrative review across miscellaneous academic fields.

David Pagnon, Germain Faity, Galo Maldonado, Yann Daout, Sidney Grosprêtre.

SportRxiv. <https://doi.org/10.31236/osf.io/e5fta>



### Outras técnicas de parkour:

a) safety vault; b) dash vault; c) reverse vault; d) diving king vault; e) underbar; f) lache; g) tic-tac; h) cat jump; i) climb-up.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Analisar e interpretar situações envolvendo **forças de atrito**, com o sentido do movimento do centro de massa e com sentido oposto.

Para analisar e interpretar as forças de atrito no desporto, é fundamental compreender que o atrito não é apenas uma "resistência", mas sim a força que permite a locomoção. No contexto do **Módulo 4**, a análise foca-se na relação entre a força de atrito e o sentido do movimento do **Centro de Massa (CM)**.

### Força de **Atrito** no Sentido Oposto ao Movimento (**Atrito Resistente**)

Esta é a situação mais comum em deslizamentos. Ocorre quando a força de atrito atua para reduzir a velocidade do Centro de Massa.

- ❑ **Situação Real:** Um jogador de basebol ou um guarda-redes de futsal a fazer uma "mancha" ou deslize no solo.
- ❑ **Dinâmica:** O CM move-se para a frente, mas a interação entre o corpo e o solo gera uma força de atrito em sentido contrário.
- ❑ **Trabalho Mecânico:** O atrito realiza um trabalho negativo, transformando a energia cinética do corpo em energia térmica (calor), fazendo o atleta parar.
- ❑ **Equipamento:** No esqui, o objetivo é minimizar este atrito através da cera nos esquis para que a velocidade do CM não diminua.

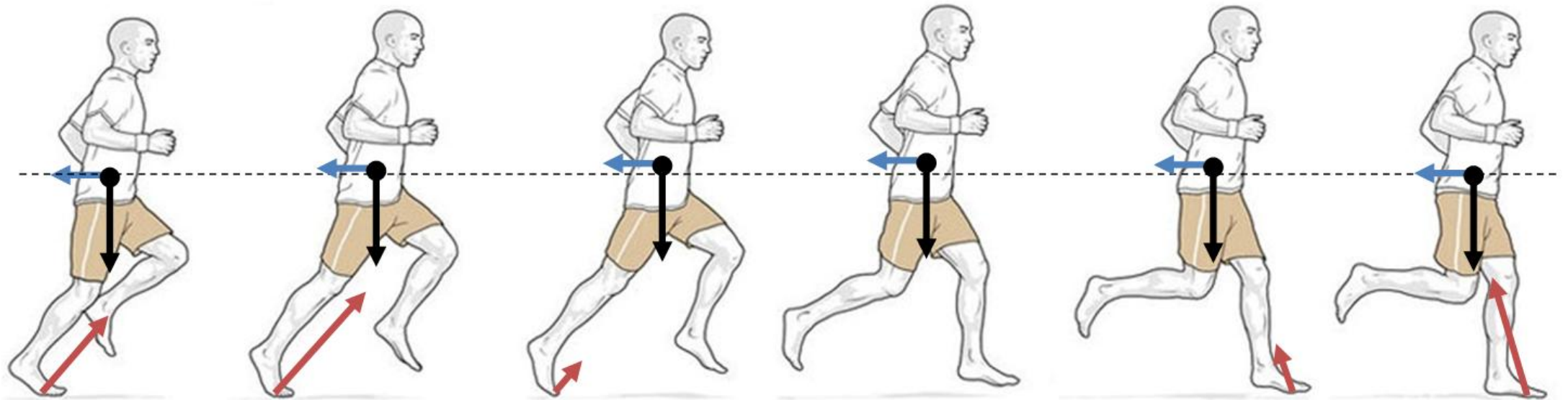
### Força de Atrito no Sentido do Movimento (**Atrito Motor**)

Este é o conceito que mais confunde os alunos, mas é essencial na biomecânica: **o atrito é o que nos empurra para a frente.**

- ❑ **Situação Real:** O arranque de um sprinter nos blocos ou a simples caminhada.
- ❑ **Dinâmica (Terceira Lei de Newton):**
  - a) O atleta empurra o solo para **trás** (ação).
  - b) O solo, através do atrito, empurra o pé do atleta para **frente** (reação).
- ❑ **Interpretação:** Neste caso, a força de atrito aponta no **mesmo sentido** do movimento do Centro de Massa. Sem esta força de atrito a apontar para a frente, o pé escorregaria para trás e o CM não sairia do lugar.

## Resumo:

- ❑ Os ossos são os corpos rígidos.
- ❑ As articulações criam o sistema articulado.
- ❑ O CG é o ponto de equilíbrio que o atleta manipula para rodar ou acelerar.



$F_g$  Força da Gravidade

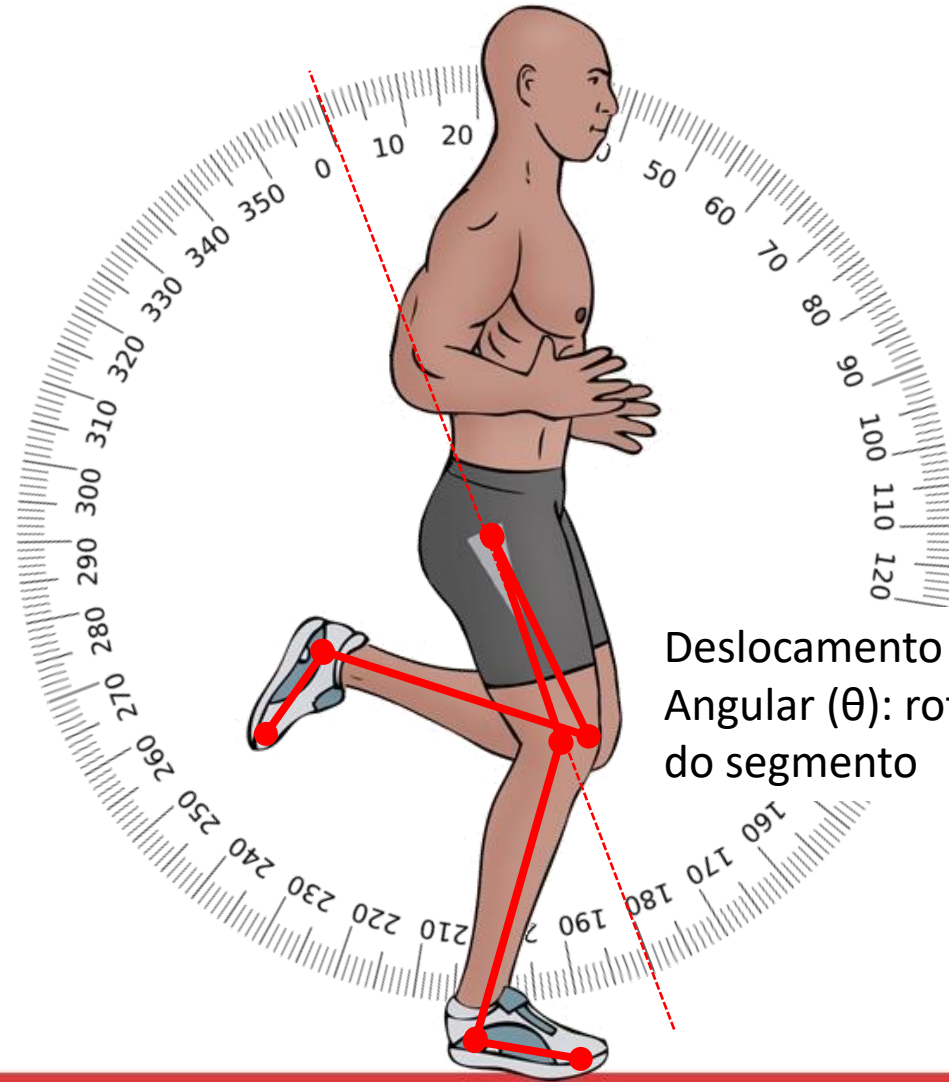
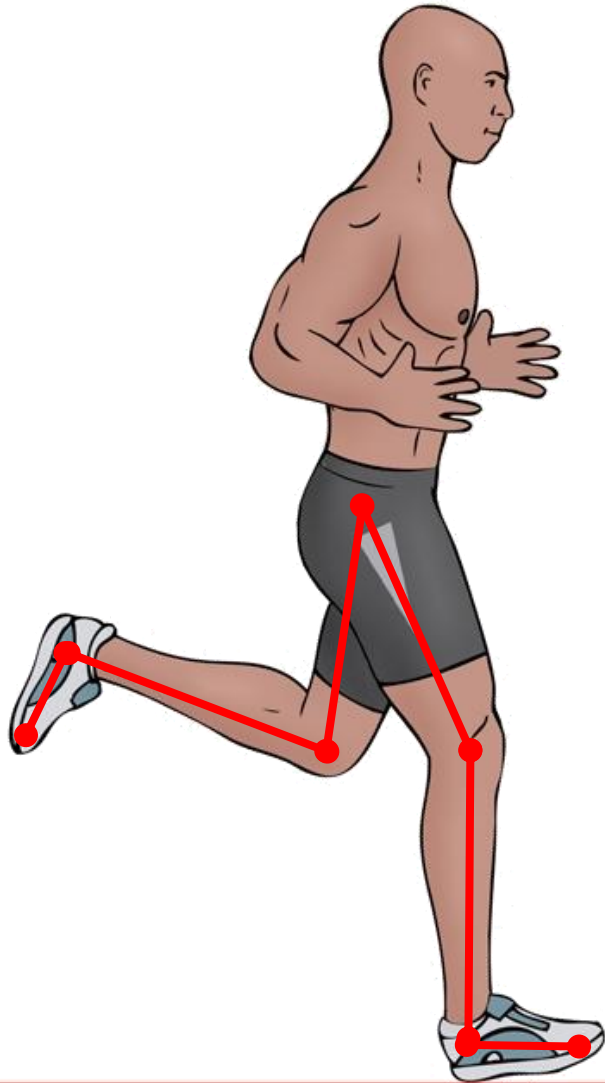
$F_r$  Força de Reação do Solo

$F_d$  Força de arrasto aerodinâmico

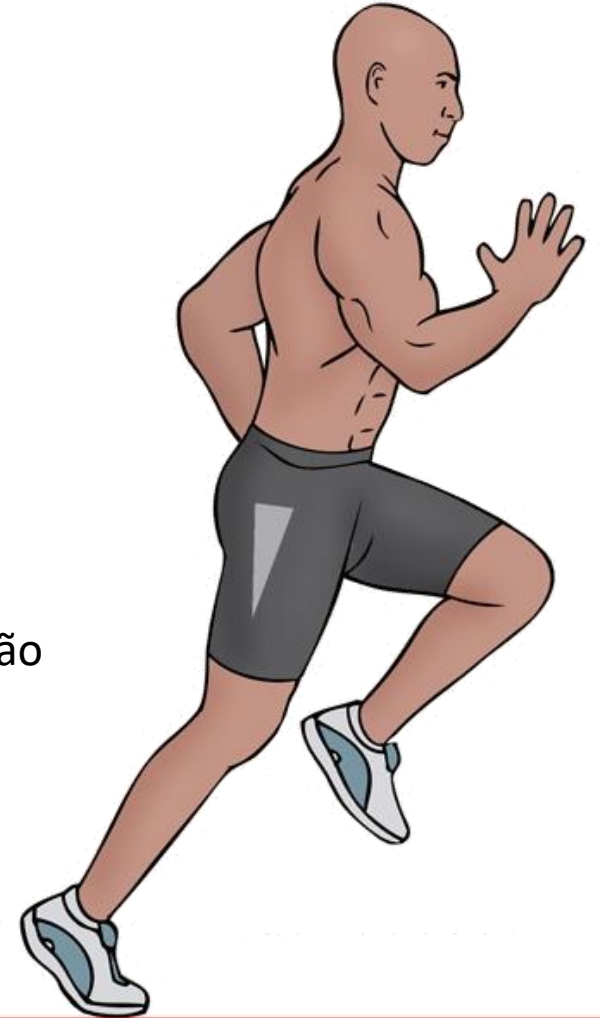
● Centro de massa do corredor

\* Os vetores de força não estão desenhados à escala

→ Movimento Linear →



Deslocamento Angular ( $\theta$ ): rotação do segmento



Força de Reação do Solo

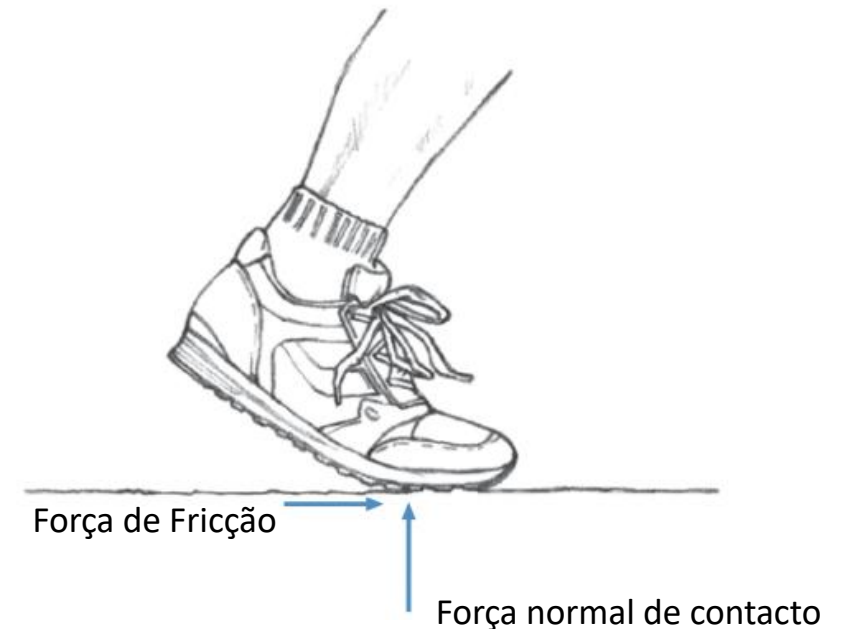
## Análise da "Ação Faltosa"

O documento que carregaste refere um erro técnico comum no corredor que envolve a direção das forças:

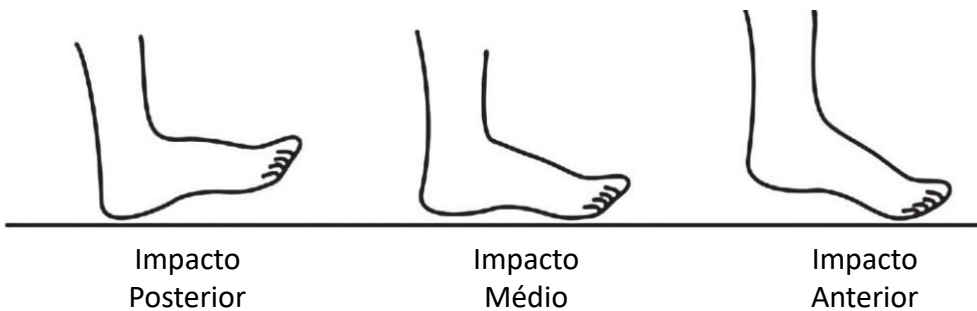
- ❑ Se o corredor coloca o pé muito à frente do CM (alcançando longe), a força de **atrito** inicial no toque do calcanhar aponta para **trás**.
- ❑ **Consequência:** Isto gera uma "força de travagem" que desacelera o CM.
- ❑ **Correção Técnica:** O documento sugere que o corredor procure o solo com um movimento "para baixo e para trás", garantindo que a força de reação/atrito ajude a propulsão do CM e não a sua travagem.

## Atrito Estático vs. Cinético

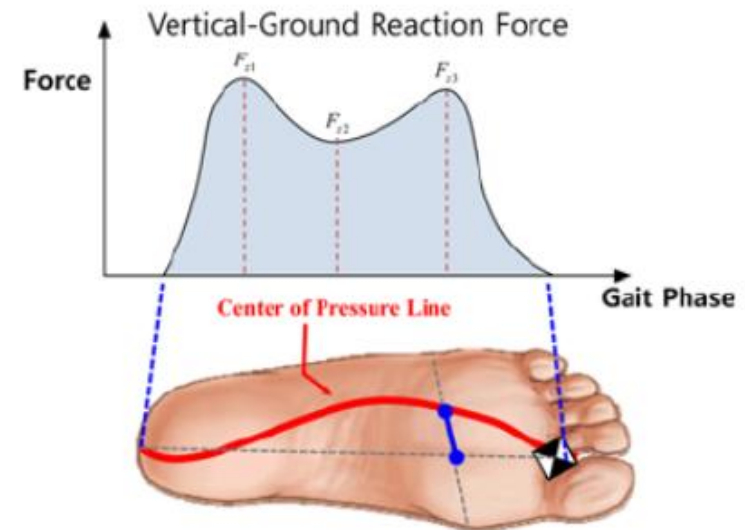
- ❑ **Atrito Estático:** Atua quando não há deslize entre as superfícies (ex: o calçado de basquetebol com boa aderência durante uma mudança de direção). É geralmente maior e mais eficiente para mudar a velocidade do CM.
- ❑ **Atrito Cinético:** Atua durante o deslize (ex: quando o pé "foge" no solo molhado). É menor e causa perda de controlo sobre o movimento do CM.



Contexto	Direção do Atrito	Efeito no centro de massa (CM)
Arranque/Corrida	Mesmo sentido do movimento	Propulsão: Acelera o CM para a frente.
Travagem/Deslize	Sentido oposto ao movimento	Resistência: Desacelera o CM.
Mudança de Direção	Perpendicular ao movimento	Deflexão: Altera a trajetória do CM.

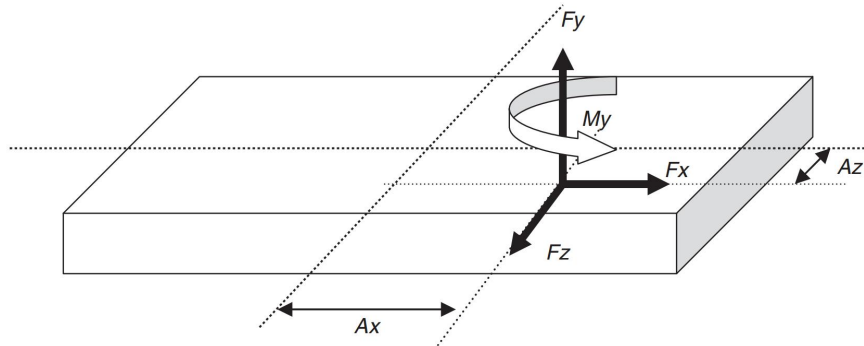


Tipos de apoio plantar.

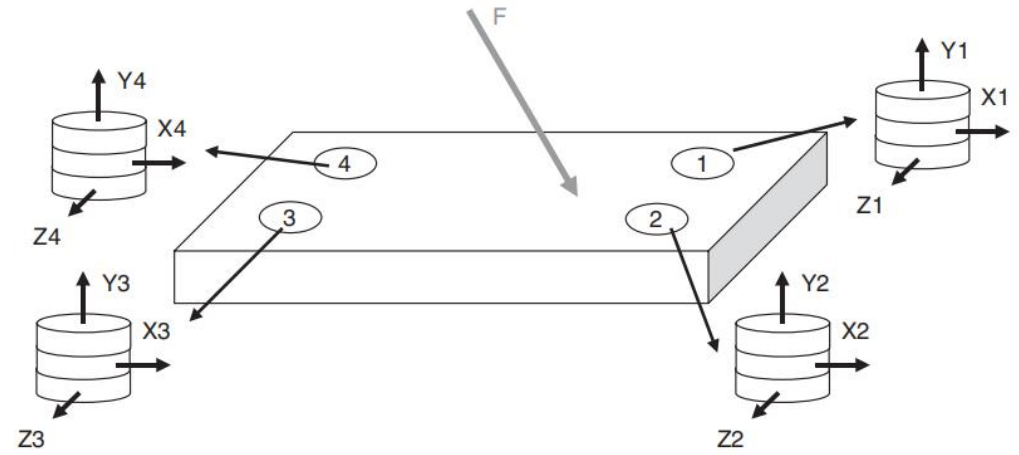


Carey Rothschild, *Running Barefoot or in Minimalist Shoes: Evidence or Conjecture?* National Strength and Conditioning Association; Volume 34 | Number 2 | april 2012

Dong-Hwan Lim, Wan-Soo Kim, Ho-Jun Kim, and Chang-Soo Han. Development of Real-Time Gait Phase Detection System for a Lower Extremity Exoskeleton Robot. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING Vol. 18, No. 5, pp. 681-687



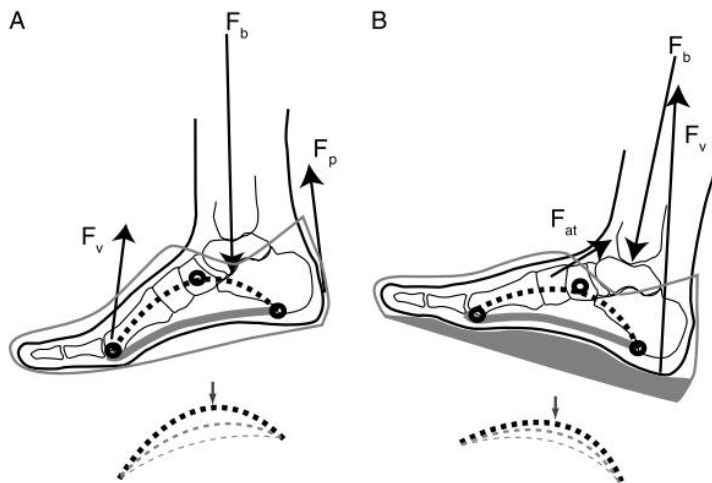
Variáveis de medição da plataforma de força.



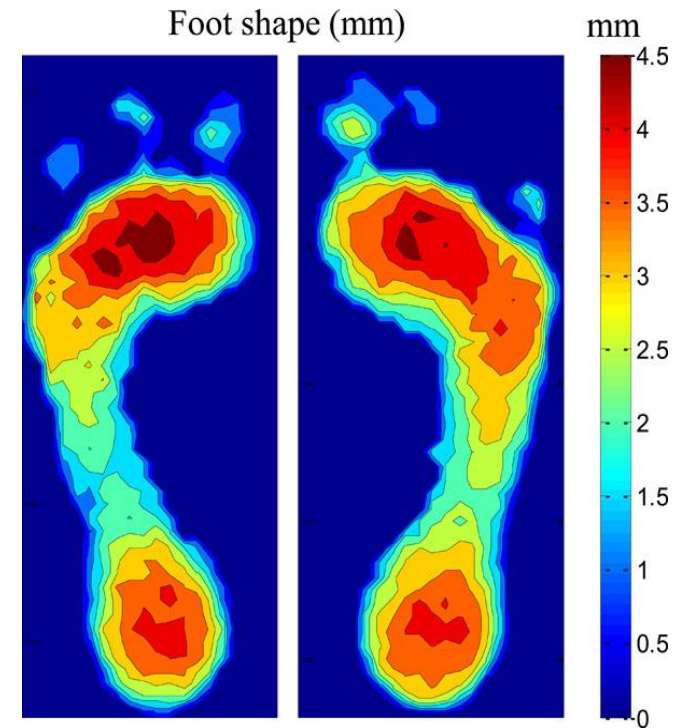
As três células de carga componentes estão embutidas em cada canto da plataforma de força.

Carl J. Payton and Roger M. Baslett. Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise. The British Association of sport and exercise sciences guidelines.

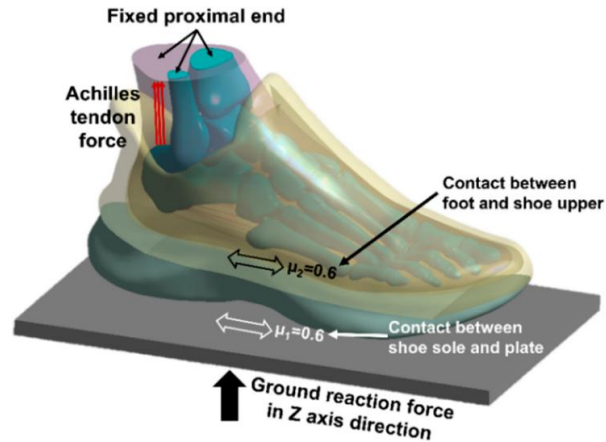
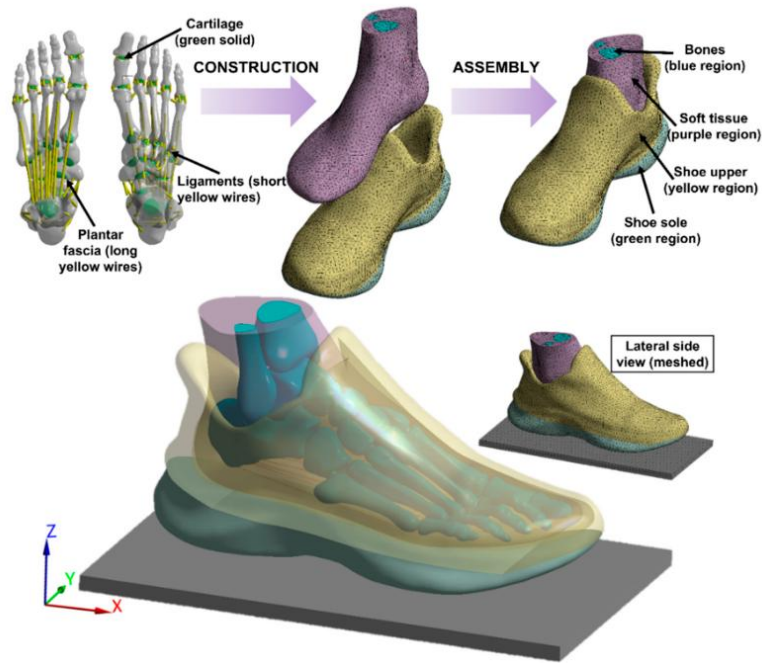
Adrian Lees and Mark Lake. *Force and pressure measurement. The Force Platform.* Chapter 4.



Bruno G.G. da Costa, et al., *Sociodemographic, biological, and psychosocial correlates of light-and moderate-to-vigorous-intensity physical activity during school time, recesses, and physical education classes*, Journal of Sport and Health Science (2017).



# Forças de Reação do Solo (FRS)

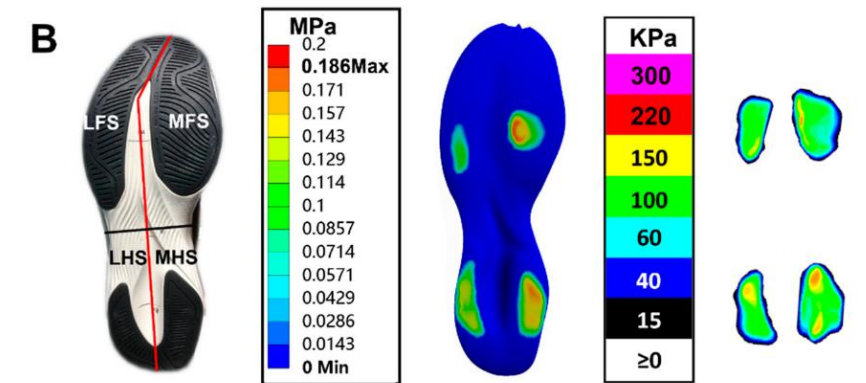
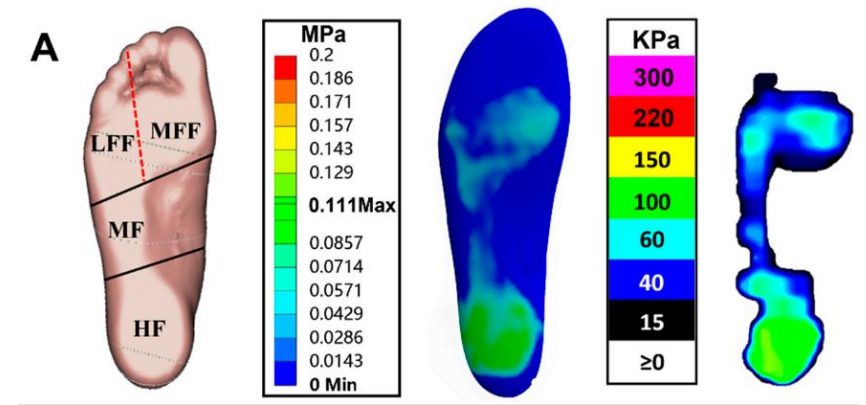


Modelo tridimensional de elementos finitos do complexo pé-calçado. O modelo partiu da reconstrução de cada parte sólida do pé e do calçado e, de seguida, as duas partes principais (pé e calçado) foram montados para formar a estrutura final, que inclui osso do pé, cartilagem, ligamento, fásia plantar, tecido mole, parte superior e sola do calçado.

A abordagem do sistema de placa plantar utilizado para simular a interação entre o pé, o sapato e o solo:

- $\mu_1$  representa o coeficiente de **atrito** entre a sola do sapato e a placa;
- Enquanto que  $\mu_2$  representa o coeficiente de **atrito** entre o pé e a parte superior do sapato.

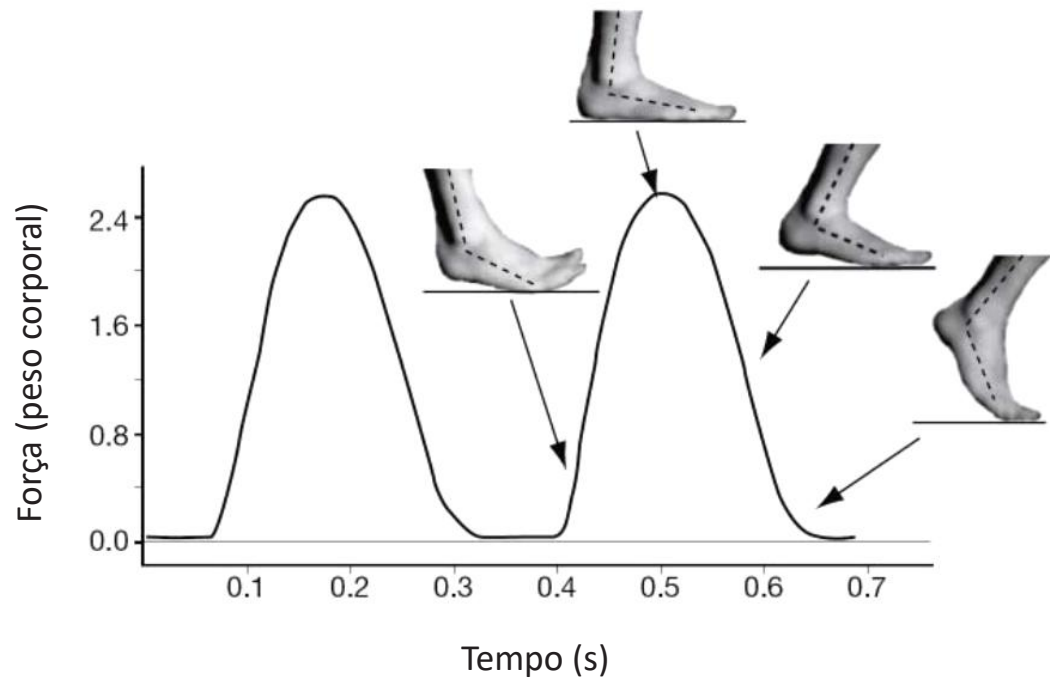
Song, Y.; Cen, X.; Zhang, Y.; Bíró, I.; Ji, Y.; Gu, Y. *Development and Validation of a Subject-Specific Coupled Model for Foot and Sports Shoe Complex: A Pilot Computational Study*. *Bioengineering* 2022, 9, 553. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9100553>



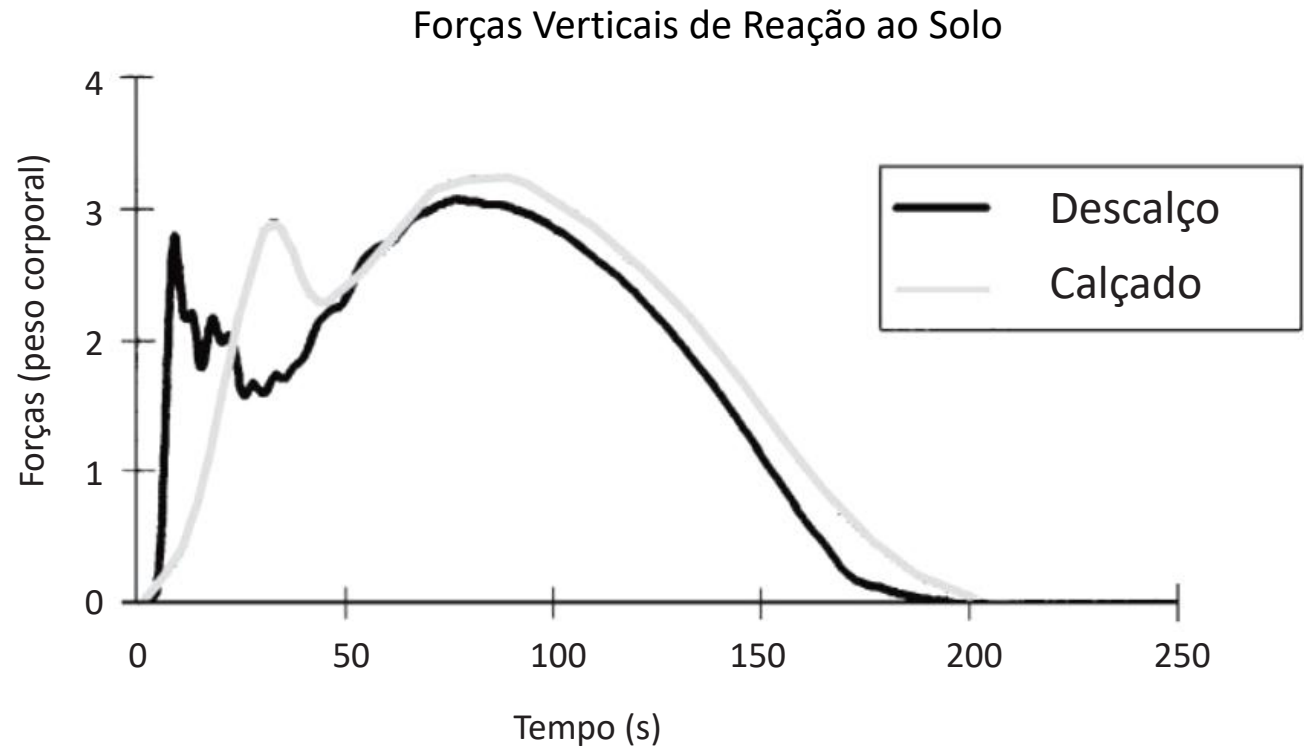
Regiões subdivididas e comparação entre a distribuição de pressão prevista e os dados experimentais de pressão:

- (A) região plantar
- (B) região da sola;

Ambas as áreas plantar e da sola foram subdivididas em quatro regiões específicas, incluindo o antepé medial (APM), antepé lateral (APL), médio-pé (MF) e retópé (RP) para o modelo de pé, antepé medial (APM), antepé lateral (APL), retópé medial (RPM) e retópé lateral (RPL) para o modelo de calçado.



Christopher MacLean. *Barefoot Running: A Biomechanist's Perspective*. Clinical Biomechanics.



Christopher MacLean. *Barefoot Running: A Biomechanist's Perspective*. Clinical Biomechanics.

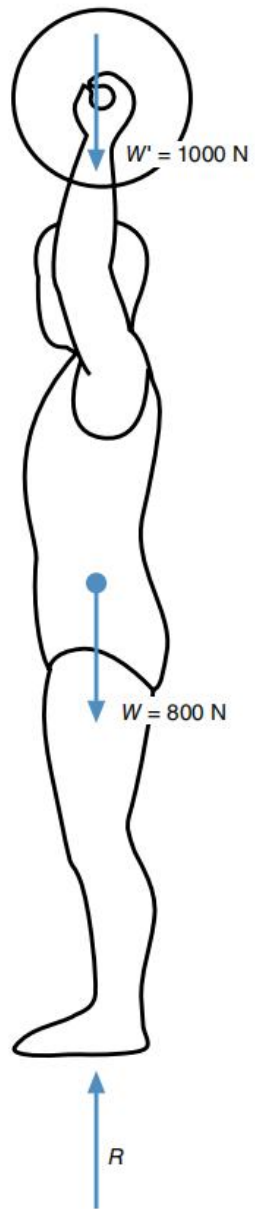
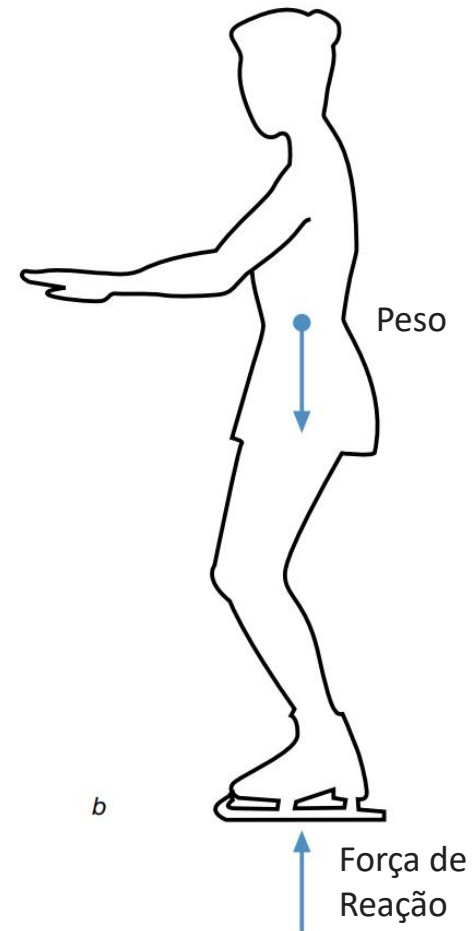


Diagrama de corpo livre de um halterofilista com barra.

A força de reação do chão é uma força de 1800 N que atua para cima sobre o halterofilista. Esta força é exatamente igual ao peso combinado do atleta e da barra.



a



b

- (a) Um patinador de pé no gelo;  
 (b) Diagrama do corpo livre do patinador.

Existem dois tipos principais de fricção seca:

### 1. Fricção Estática ( $F_s$ )

É a força de atrito/fricção que atua entre duas superfícies que não estão em movimento relativo uma em relação à outra.

- ❑ **Função:** Impede o início do movimento.
- ❑ **Fricção Estática Limite:** É a quantidade máxima de atrito/fricção que se pode desenvolver antes de um objeto começar a deslizar. No desporto, isto é crucial para o "apoio" (ex: um corredor de 100m nos blocos de partida precisa de elevado atrito/fricção estática para não escorregar).
- ❑ **Cálculo:** Depende do coeficiente de atrito/fricção estática ( $\mu_s$ ) e da força normal ( $R$ ).

### 2. Fricção Dinâmica (ou Cinética) ( $F_d$ )

É a força de atrito/fricção que atua entre superfícies que já estão em movimento relativo (deslizamento).

- ❑ **Características:** Uma vez iniciado o movimento, a força de atrito/fricção é geralmente menor do que o atrito/fricção estática limite. É por isso que é mais difícil "começar" a empurrar um trenó de *bobsleigh* do que "continuar" a empurrá-lo.
- ❑ **Cálculo:**  $F_d = \mu_d \times R$  (onde  $\mu_d$  é o coeficiente de atrito/fricção dinâmica).

### 3. Atrito/Fricção de Rolamento (*Rolling Friction*)

Embora menos comum na análise biomecânica do corpo isolado, é fundamental em desportos com rodas ou bolas (ciclismo, patinagem, golfe).

- ❑ **Definição:** Ocorre quando um objeto redondo rola sobre uma superfície. É significativamente menor do que o atrito/fricção de deslizamento.

Segundo McGinnis, a força de atrito/fricção **NÃO** depende da área de contacto aparente, mas sim de dois fatores principais:

- ❑ **A Força Normal (R):** Quanto mais força "esmagar" as duas superfícies uma contra a outra (ex: o peso de um atleta), maior será o atrito/fricção.
- ❑ **A Natureza das Superfícies:** Representada pelo **Coefficiente de Fricção ( $\mu$ )**. Superfícies rugosas ou materiais como a borracha sobre o asfalto têm coeficientes altos; o gelo sobre o aço tem um coeficiente muito baixo.

#### Aplicação Prática no Desporto:

- ❑ **Aumentar o atrito/Fricção:** Uso de magnésio na ginástica, pitões nas botas de futebol ou resina no andebol.
- ❑ **Diminuir o Atrito/Fricção:** Cera nos esquis, fatos de natação de baixa resistência ou lubrificantes em peças de bicicletas.

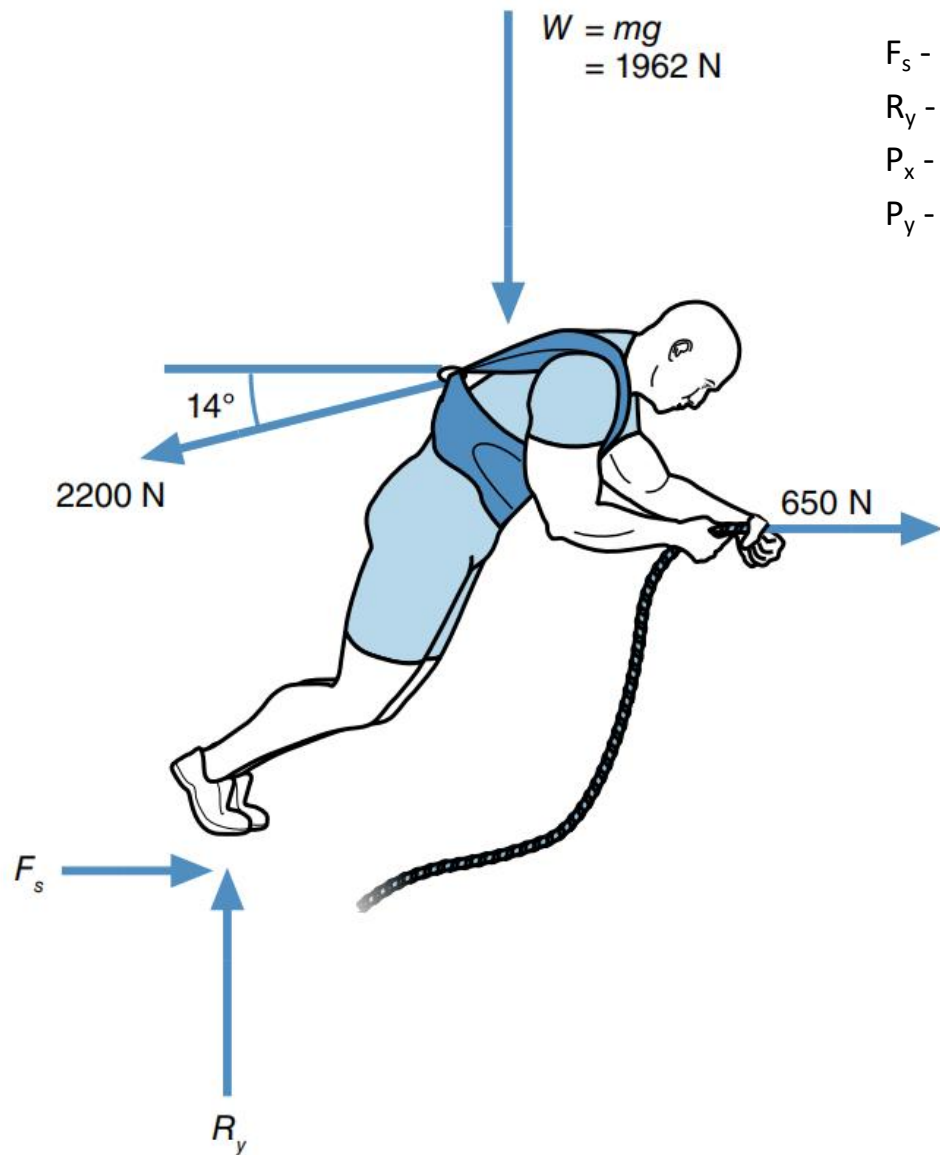


Diagrama de corpo livre que mostra as forças externas que atuam sobre um homem forte que tenta puxar um caminhão.

$F_s$  - Força de Fricção (Atrito)  
 $R_y$  - Força de Contacto (Reação do Solo / Pressão)  
 $P_x$  - Componente horizontal da Corda  
 $P_y$  - Componente vertical da corda

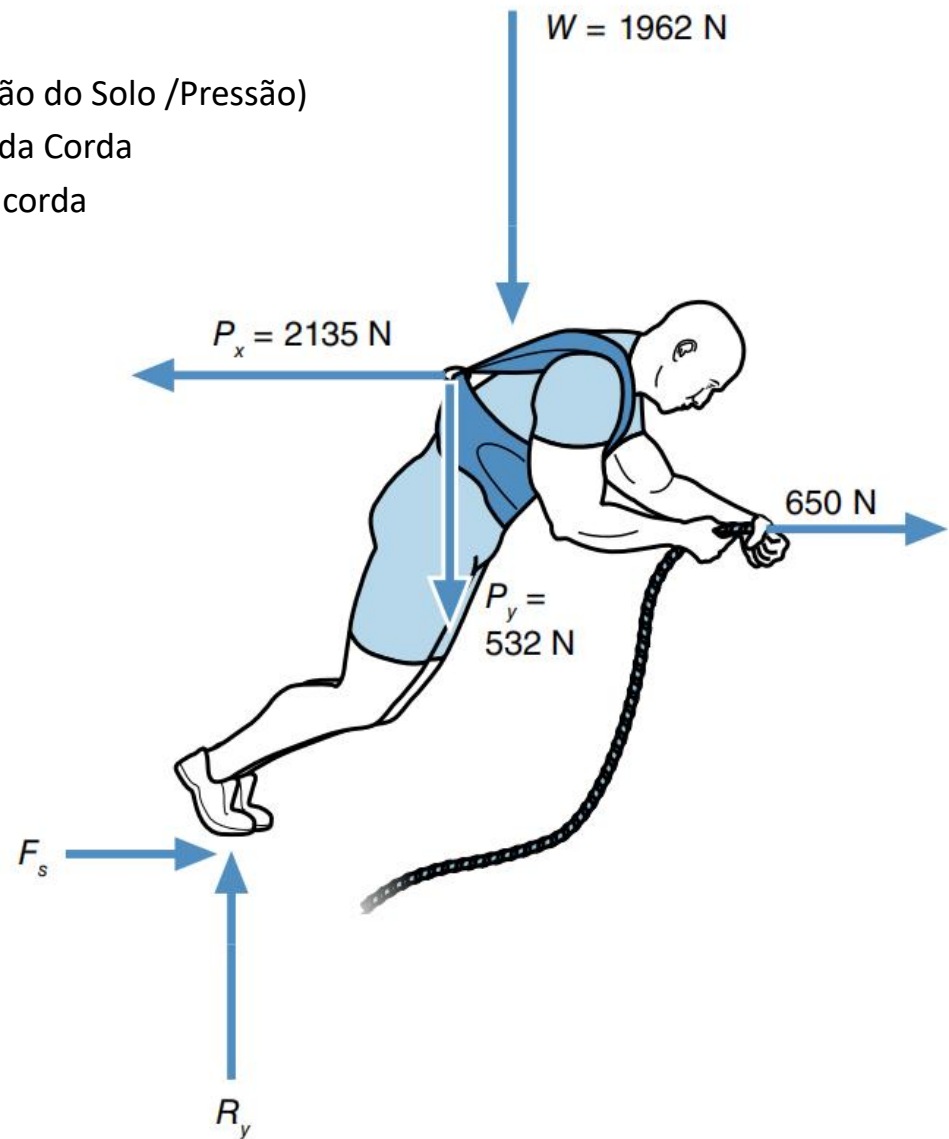


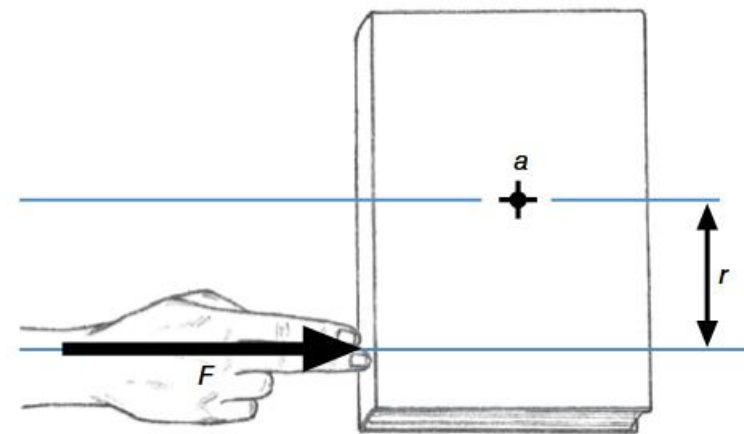
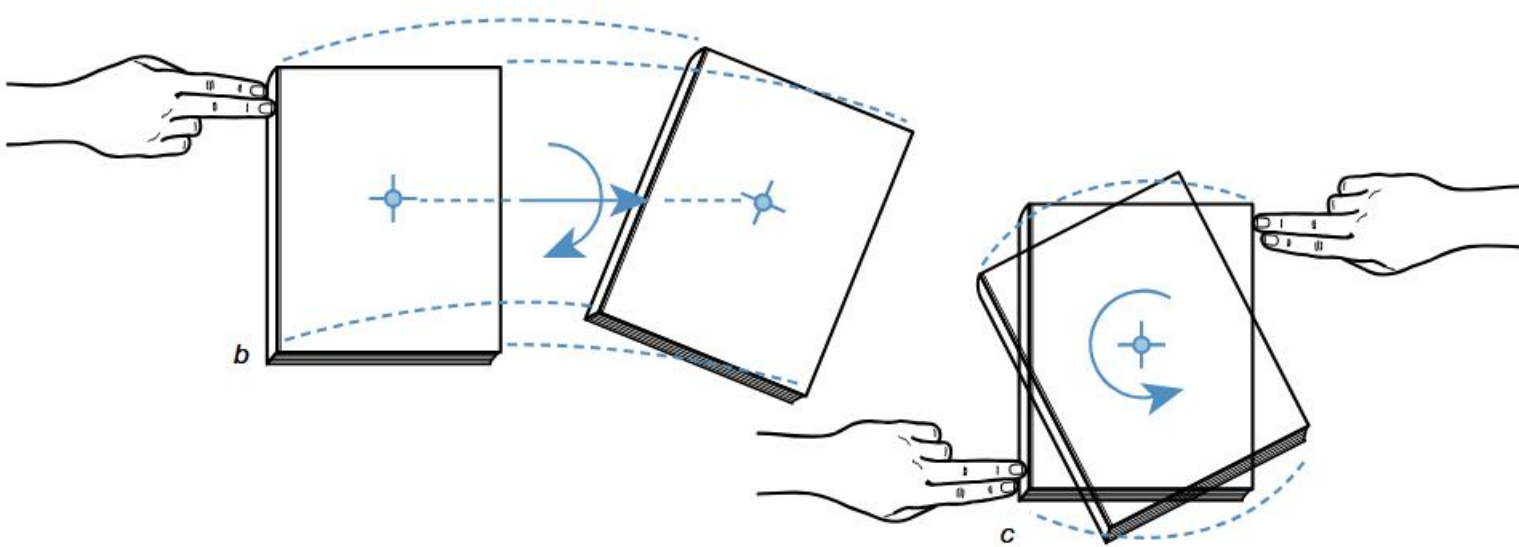
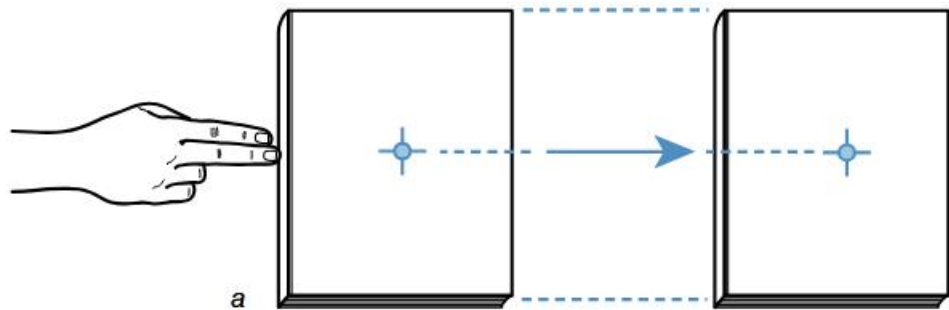
Diagrama de corpo livre do homem forte com todas as forças decompostas em componentes horizontais e verticais.

## **2.2.2. CINÉTICA ÂNGULAR**

Estuda os momentos de força (torques) que causam rotação em torno de um eixo.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Analisar e interpretar o efeito rotativo de uma força, com base na grandeza momento de uma força, em situações de movimentos de um segmento e do corpo na totalidade.



O braço de alavanca ( $r$ ) de uma força ( $F$ ) é a distância perpendicular entre a linha de ação da força e uma linha paralela que passa pelo eixo de rotação ( $a$ ).

Deslizar um livro sobre uma mesa de forma a criar um deslocamento:

- (a) translação
- (b) translação e rotação
- (c) Rotação

Para analisar e interpretar o efeito rotativo de uma força no corpo humano, o documento foca-se nos conceitos de força excêntrica, binários e o momento resultante (torque).

## O Momento de uma Força (Torque)

O efeito rotativo é produzido quando uma força é aplicada de forma a causar ou tender a causar a rotação de um corpo em torno de um eixo. O efeito rotativo depende da força excêntrica.

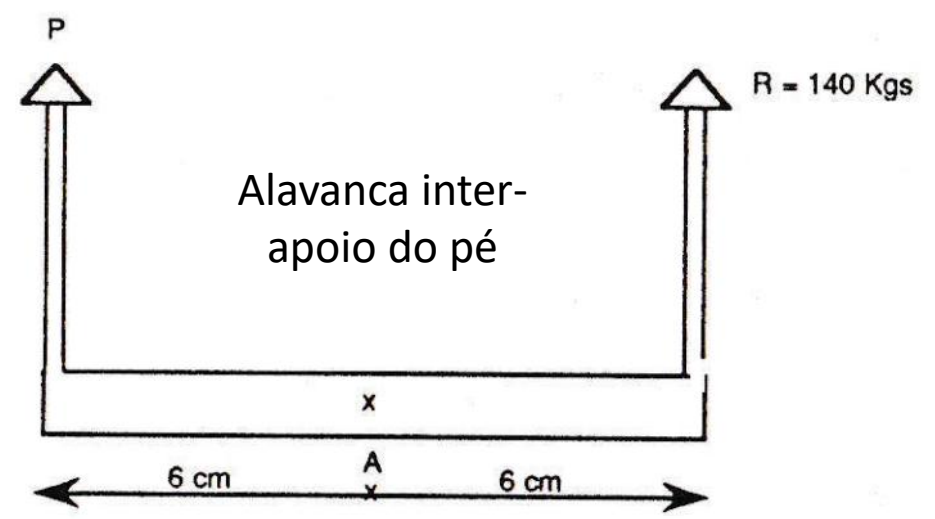
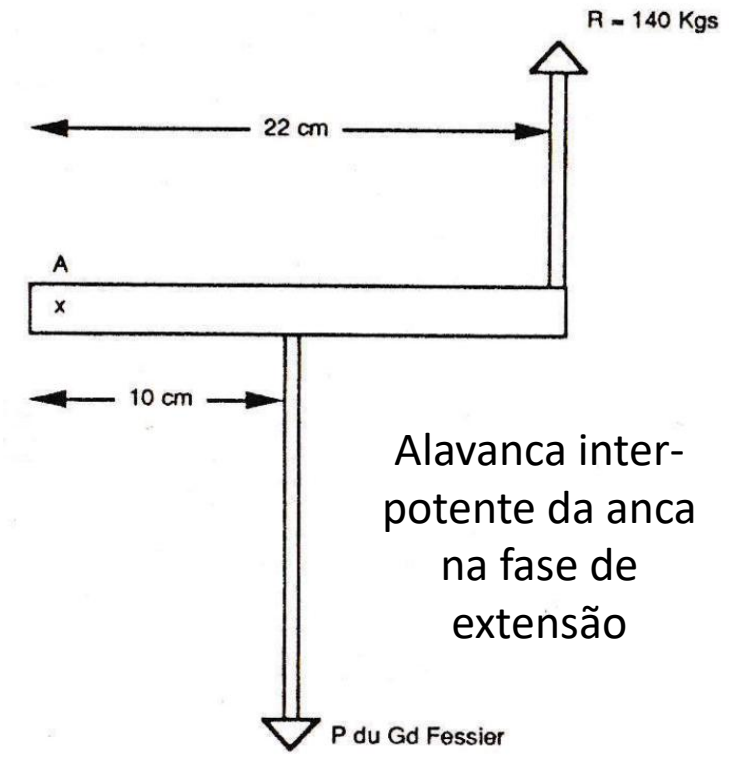
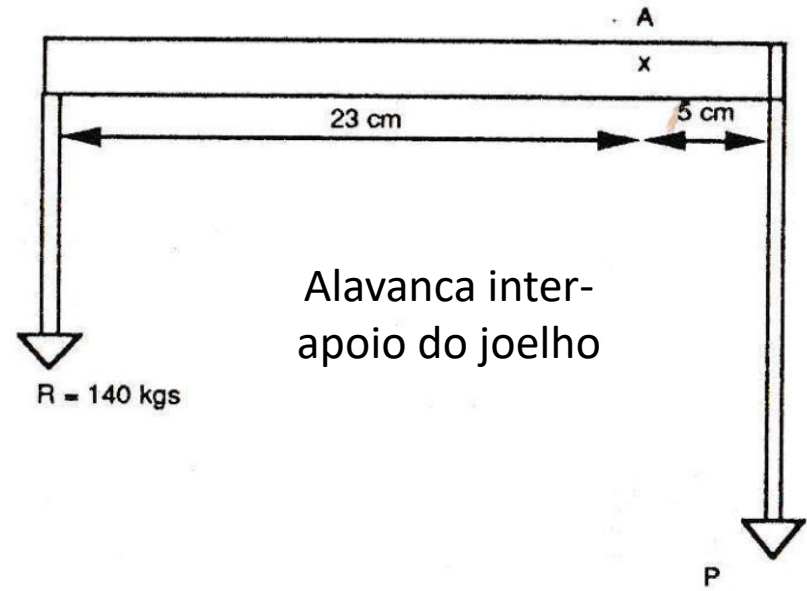
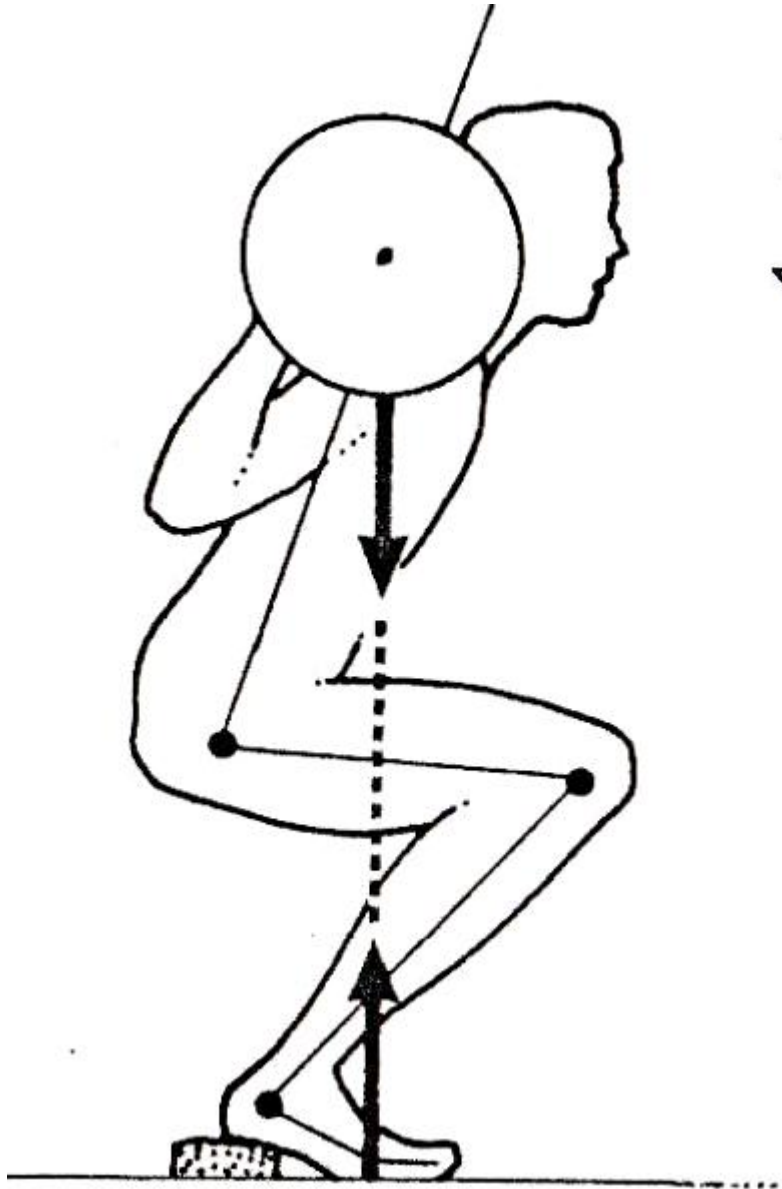
- ❑ **Força Excêntrica:** É definida como uma força cuja linha de ação não passa pelo centro de gravidade do corpo. Esta força causa simultaneamente translação e rotação (movimento generalizado).
- ❑ **Binário:** Ocorre quando duas forças de igual magnitude agem em direções opostas em linhas de ação diferentes. O efeito de um binário é puramente rotacional, pois os efeitos de translação cancelam-se mutuamente.
- ❑ **Cálculo do Momento (M):** O momento ou torque é o produto da magnitude da força (F) pela distância perpendicular entre a linha de ação da força e o eixo de rotação, conhecida como **braço do momento** ( $d \perp$ ).

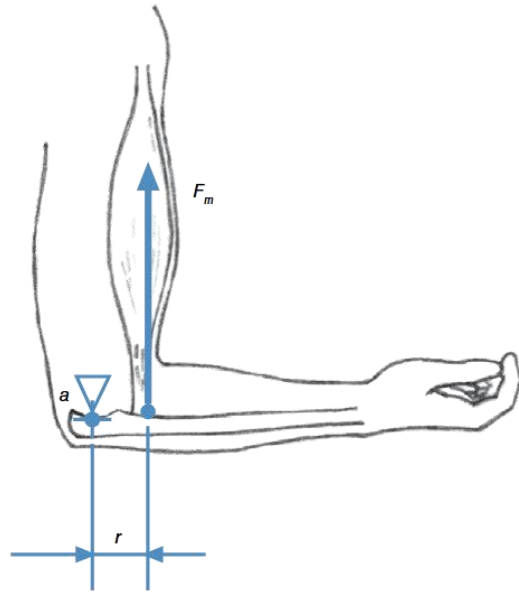
Fórmula:  $M = F \times d \perp$

## Movimento de um Segmento (alavancas)

Os segmentos corporais rodam em torno das articulações. Nos segmentos corporais (como o braço ou a coxa), o movimento é predominantemente angular (rotação) devido à fixação nas articulações, que funcionam como eixos.

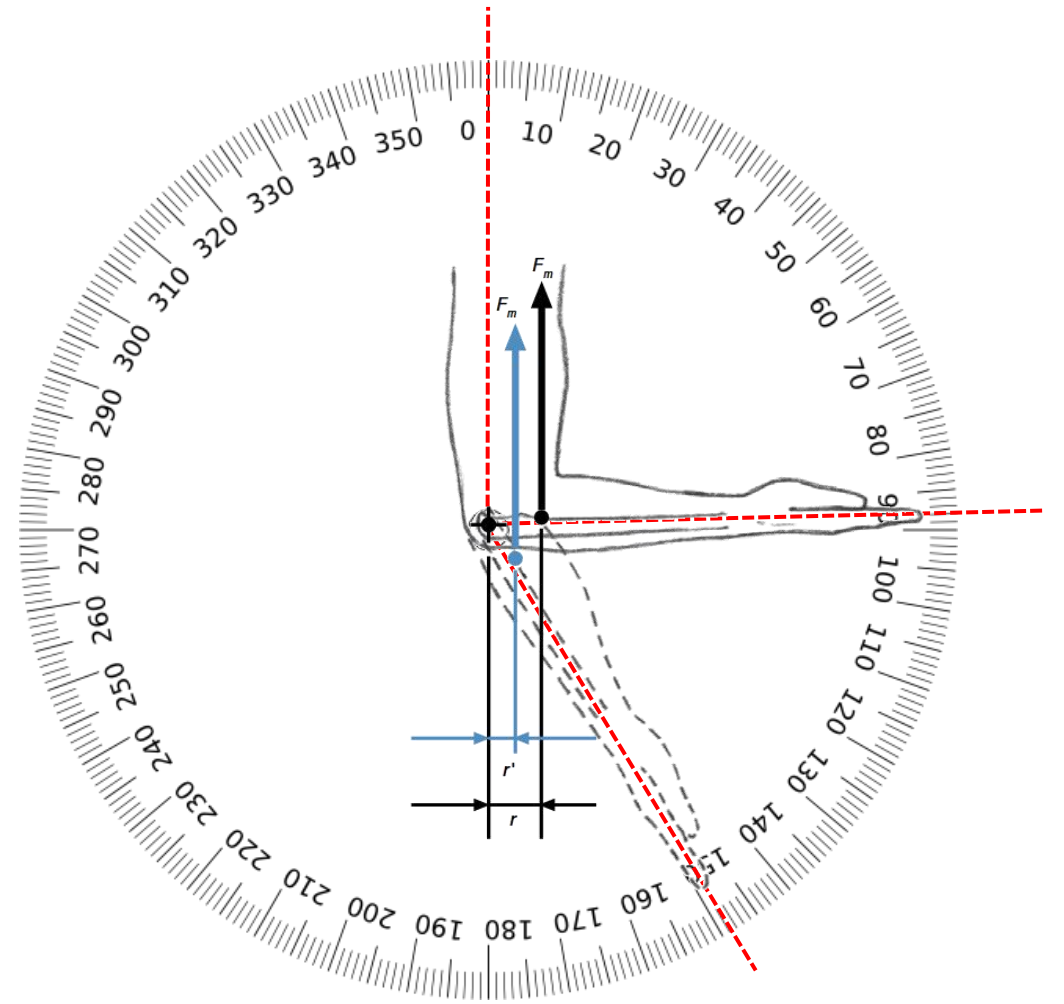
- ❑ **Alavancas Biológicas:** Quando um corpo está fixo num ponto (articulação) e livre para rodar, a força aplicada pelos músculos cria um binário em conjunto com a força de reação da articulação.
- ❑ **Braço do Momento Muscular:** A eficiência de um músculo em rodar um segmento depende não só da força que ele gera, mas da distância perpendicular do tendão ao centro da articulação. Se as mãos de um equilibrista estiverem bem separadas na vara, ele consegue exercer momentos maiores com forças menores devido ao braço de momento mais longo.





O binário criado:

O bíceps braquial exerce um torque em torno do eixo da articulação do cotovelo, produzindo uma força ( $F_m$ ) com um braço de alavanca ( $r$ ) em torno da articulação.



O binário criado:

O braço de alavanca do músculo bíceps braquial diminui de  $r$  para  $r'$  à medida que o cotovelo se estende de  $90^\circ$

O conceito de **Binário** (ou *Par de Forças*) é fundamental na biomecânica para explicar como geramos rotação sem translação, algo essencial em gestos como o lançamento do disco, as rotações na ginástica ou a técnica de remada.

De acordo com os princípios de Hay e Reid, aqui está a explicação técnica:

## Definição Mecânica

Um binário ocorre quando **duas forças paralelas**, de **intensidade igual**, mas em **sentidos opostos**, atuam sobre um corpo, separadas por uma distância (braço de binário).

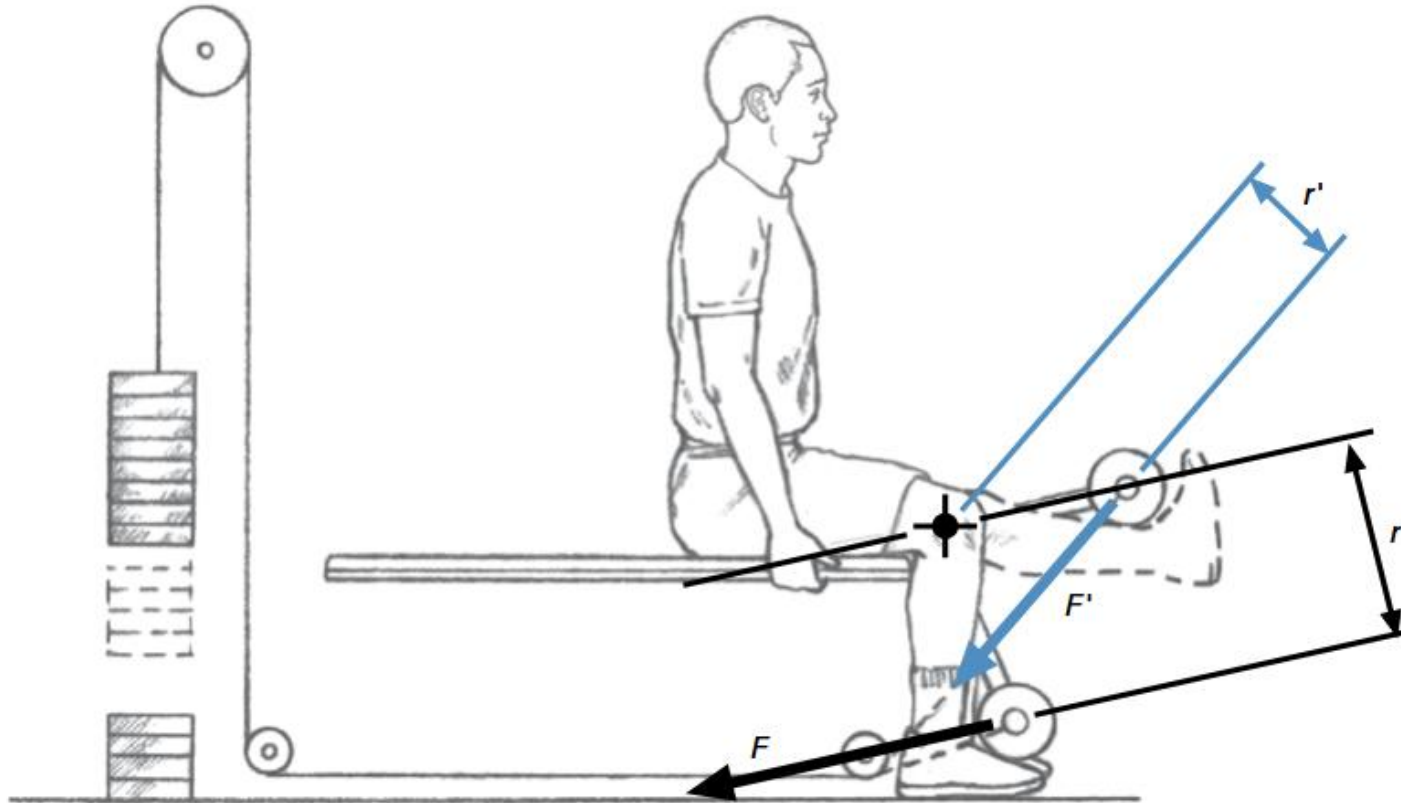
- ❑ **Resultante Linear:** Como as forças são iguais e opostas ( $F_1 = -F_2$ ), a força resultante é **zero**. O corpo não se desloca para a frente, trás ou lados.
- ❑ **Efeito Rotativo:** Embora não haja translação, as duas forças combinam-se para criar um **momento de força (Torque)**, causando uma rotação pura em torno do Centro de Gravidade (CG).

## O Binário no Movimento Humano

No desporto, raramente aplicamos um binário perfeito com apenas dois músculos, mas sim através de **cadeias musculares** que atuam em oposição para controlar ou gerar rotação.

### Exemplos Práticos:

- ❑ **Lançamento do Disco:** No início da rotação, os braços e o tronco aplicam forças em direções opostas para iniciar o movimento angular em torno do eixo vertical.
- ❑ **Remada (Kayak):** Para girar a embarcação rapidamente, o atleta puxa a água de um lado (força para trás) e empurra do outro (força para a frente), criando um binário que faz o barco rodar sobre o seu eixo central.
- ❑ **Ciclismo:** Ao pedalar em pé, as mãos puxam o guidão para cima de um lado enquanto o pé empurra o pedal para baixo do mesmo lado, criando binários que estabilizam ou inclinam a bicicleta para otimizar a potência.



Uma máquina de extensão de pernas:

O binário varia com a posição devido à alteração do tamanho do seu braço de alavanca ( $r$ ).

## Fatores que Afetam a **Intensidade do Binário**

A magnitude do efeito rotativo (o "momento do binário") depende de dois fatores:

- ❑ **A Magnitude das Forças:** Quanto maior a força aplicada, maior a aceleração angular.
- ❑ **O Braço do Binário:** A distância perpendicular entre as duas linhas de ação das forças.

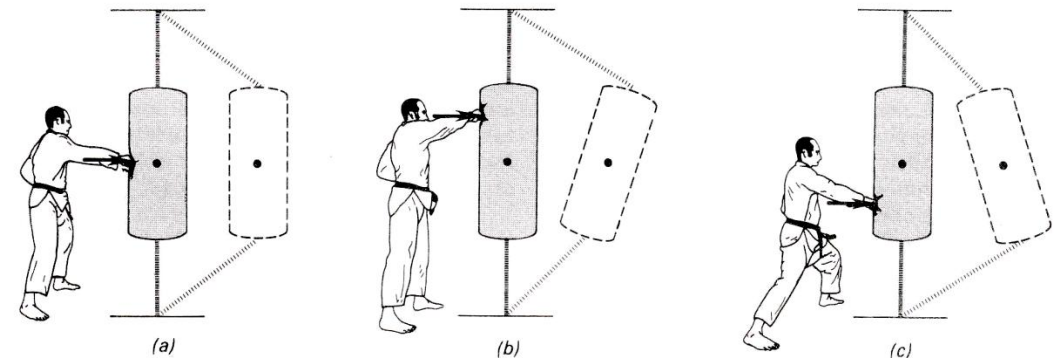
a) *Estratégia de Performance:* Aumentar a distância entre as mãos (no remo ou no guidador) aumenta o binário sem necessidade de aplicar mais força muscular.

$$M = F \times d$$

(Onde  $M$  é o Momento,  $F$  é uma das forças e  $d$  é a distância entre elas).

## Aplicação na Análise de Erros

Ao observar um atleta, um erro comum de coordenação é a aplicação de forças que **não são paralelas ou opostas**. Se as forças não formarem um binário equilibrado, o atleta acabará por se deslocar (translação) quando o objetivo era apenas rodar, perdendo o controle do Centro de Gravidade.

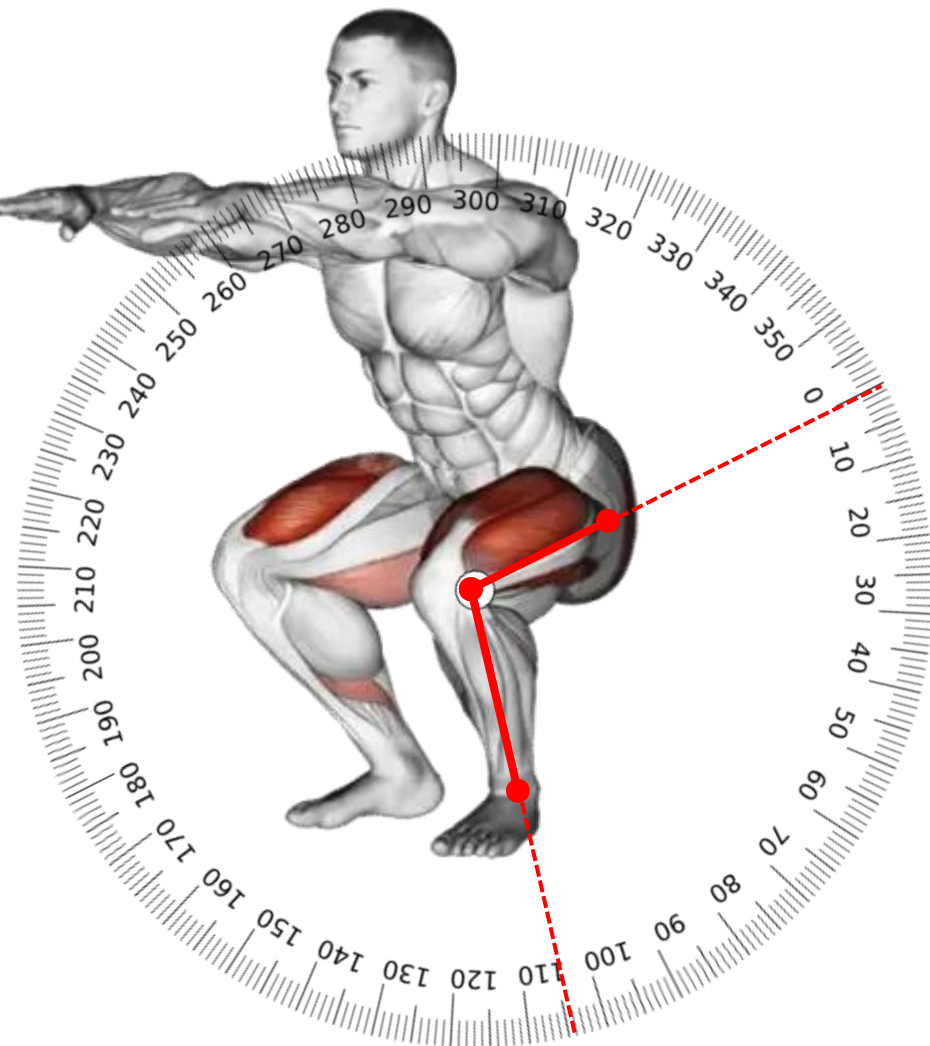
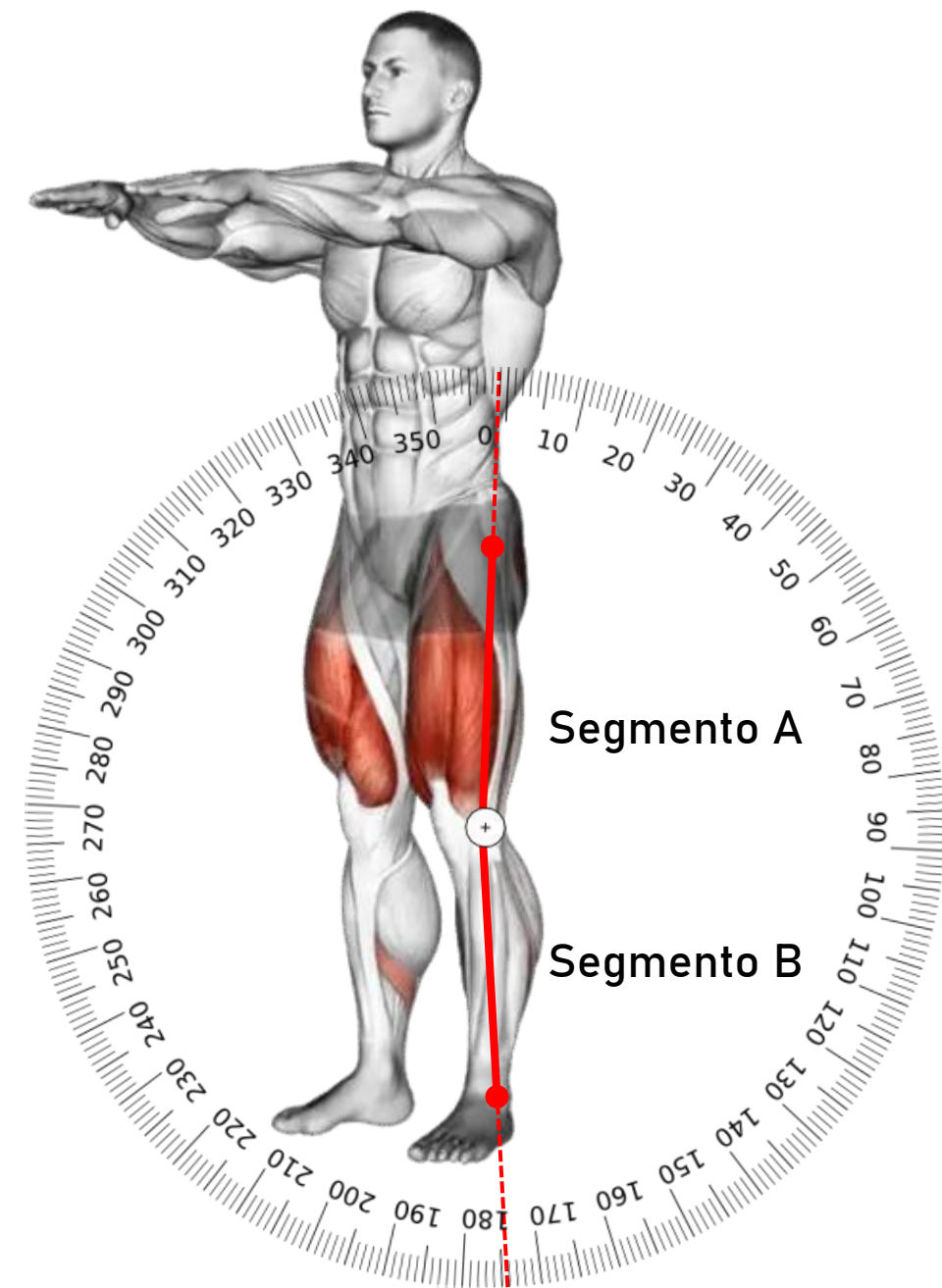


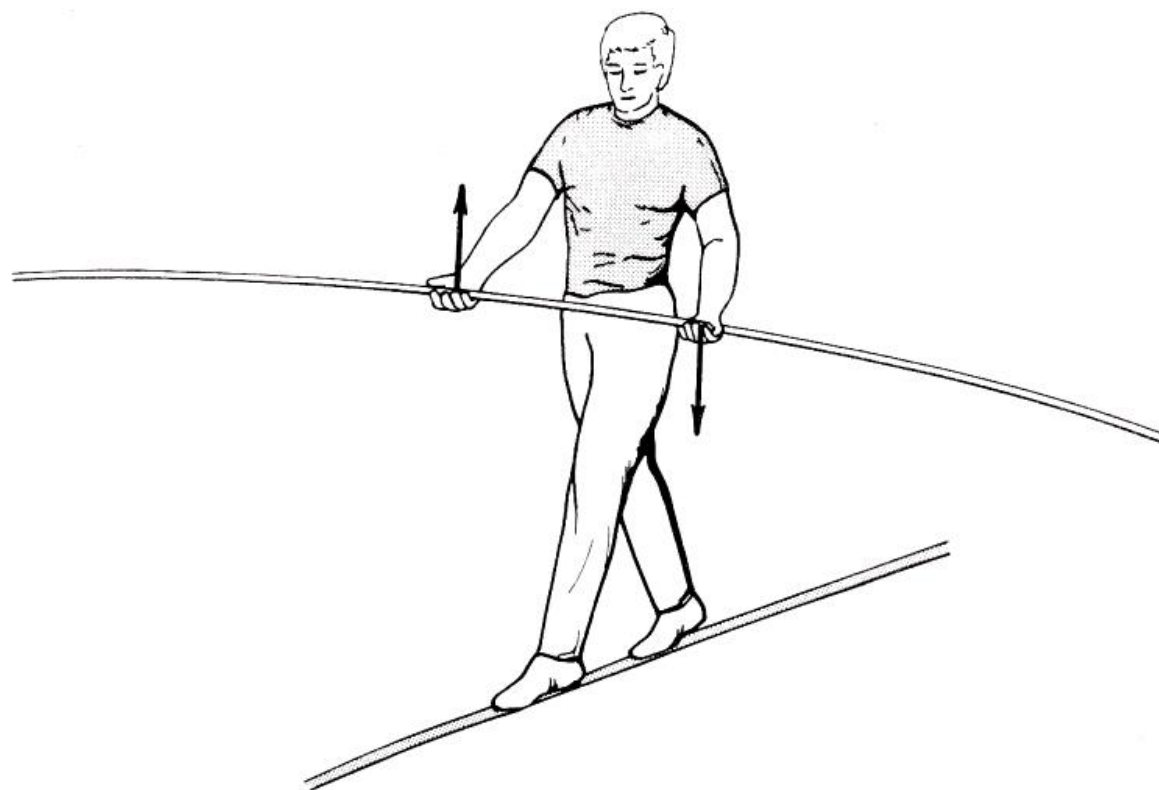
Uma força aplicada ao centro do corpo causa a sua translação. Uma força que não é dirigida ao centro do corpo - uma força excêntrica - causará a sua translação e rotação simultaneamente.

## Estratégias de Performance (Baseado em Schoenfeld)

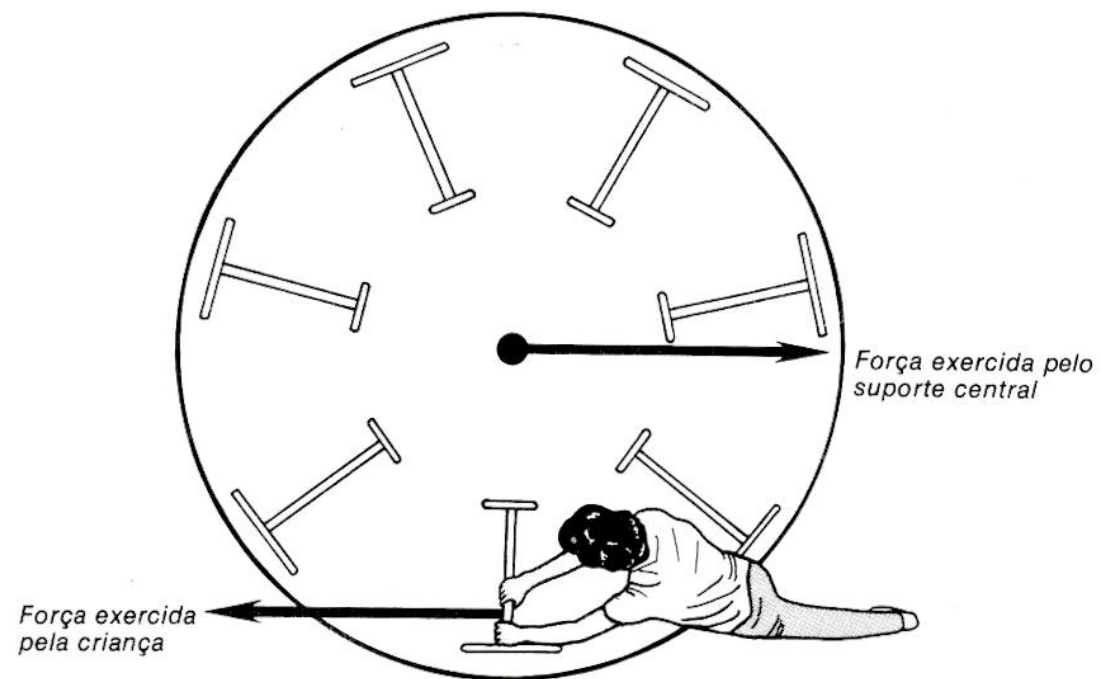
Para otimizar o movimento e evitar lesões, o binário deve ser equilibrado:

- ❑ **Manter o calcanhar no solo:** Garante que a Base de Suporte é máxima, permitindo uma melhor distribuição da GRF.
- ❑ **Controlo da descida:** Uma descida controlada permite que os músculos antagonistas (isquiotibiais) mantenham o binário estabilizador no joelho, protegendo os meniscos e ligamentos.
- ❑ **Alinhamento da Coluna:** Manter as curvas fisiológicas garante que o binário gerado pela carga externa não cause cisalhamento excessivo nos discos intervertebrais.





As forças verticais iguais e opostas exercidas pelo equilibrista constituem-se num binário responsável pela rotação da vara de equilíbrio e, portanto, auxiliam o seu equilíbrio.



Uma força excêntrica que aparentemente causa rotação sem translação é, na realidade, uma das duas forças que constituem o binário.

## Movimento do Corpo na Totalidade

A análise da rotação do corpo como um todo envolve a interação entre o momento aplicado e a resistência do corpo à rotação.

- **Momento de Inércia (I):** Representa a resistência de um corpo a mudar o seu movimento angular. Depende da massa do corpo e de como esta está distribuída em relação ao eixo de rotação.
  - a) Se a massa estiver concentrada perto do eixo (posição grupada), a resistência é menor; se estiver longe (posição estendida), a resistência é maior.
- **Eixos Principais:** O corpo humano possui três eixos principais de rotação que passam pelo seu centro de gravidade: **transverso** (lateral), **frontal** (frente para trás) e **longitudinal** (cima para baixo). O momento de inércia varia significativamente dependendo do eixo escolhido.
- **Momento Angular (H):** É a "quantidade de rotação" de um corpo, calculada como  $H=I \times \omega$  (onde  $\omega$  é a velocidade angular).

## Interpretação em Situações Reais

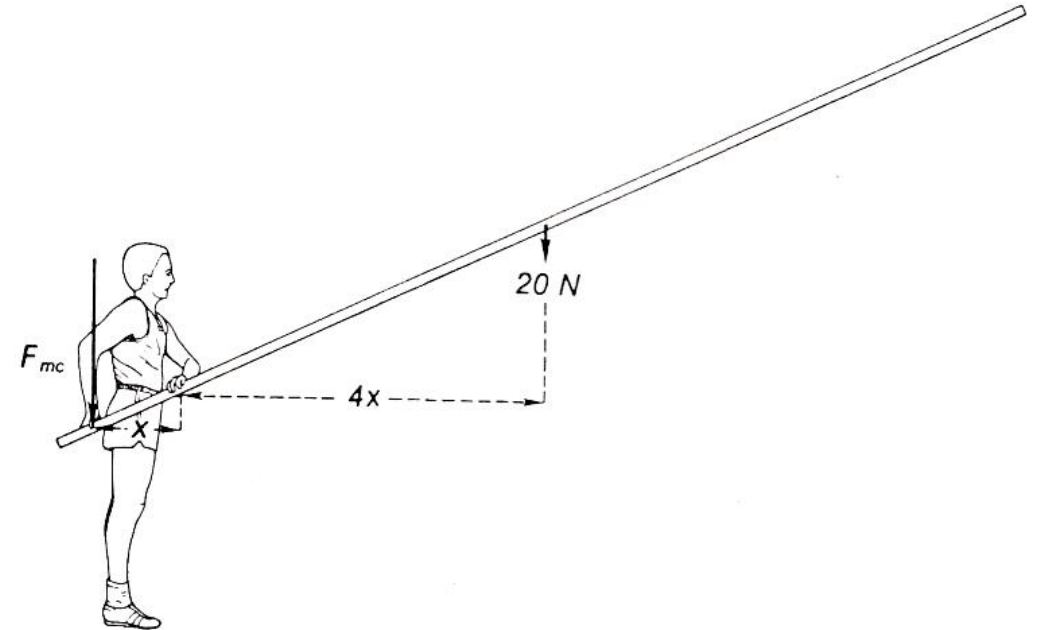
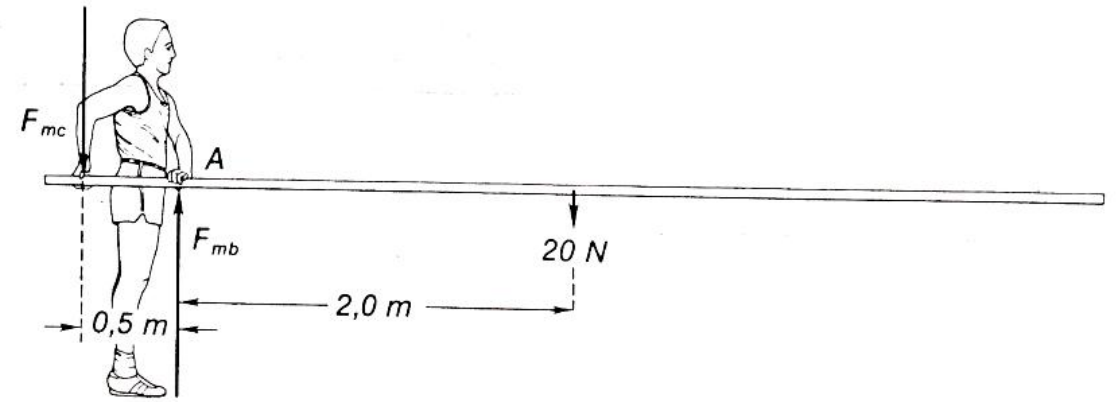
- **Equilíbrio e Estabilidade:** A estabilidade de uma posição depende dos momentos das forças que atuam sobre o corpo. Por exemplo, se a linha de gravidade cair fora da base de suporte, o peso do corpo cria um momento que causa a queda (rotação).
- **Salto em Altura e Ginástica:** Atletas manipulam o seu momento de inércia durante o voo para alterar a sua velocidade angular. Ao encolher o corpo (diminuindo I), a velocidade angular aumenta para completar uma rotação, mantendo o momento angular constante (Princípio da Conservação do Momento Angular).

## Equilíbrio

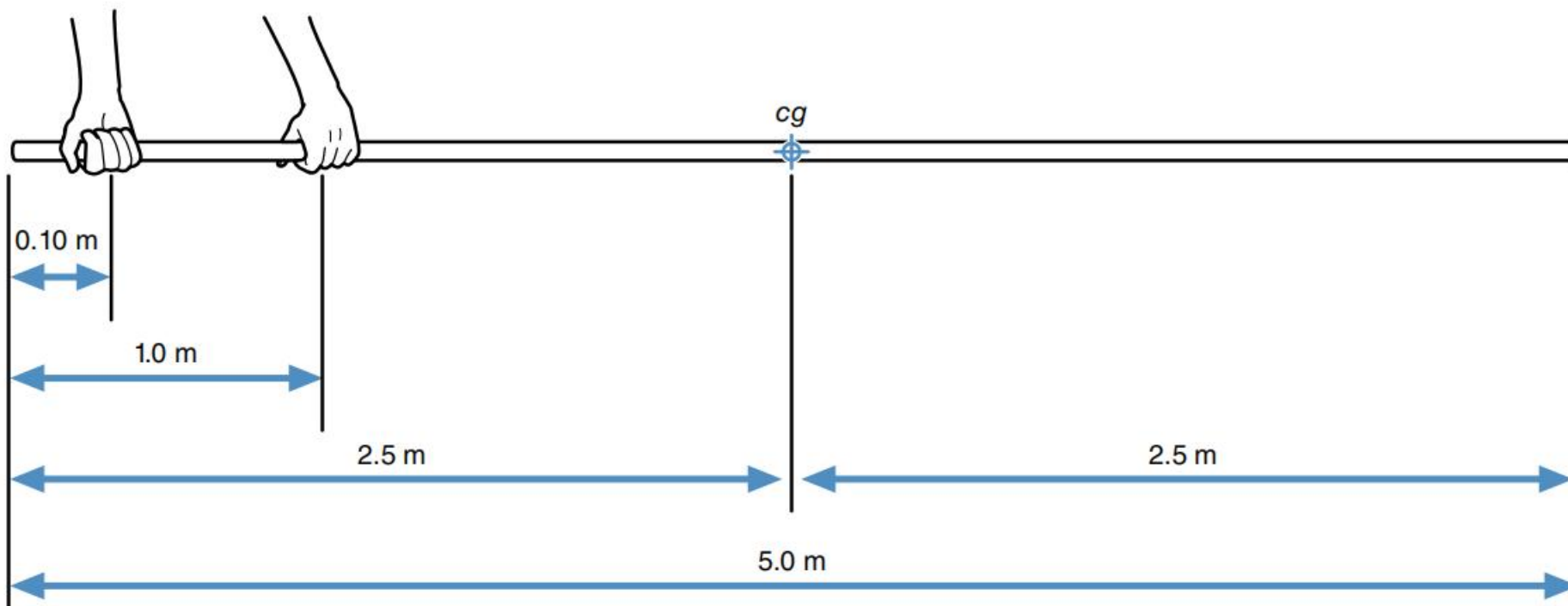
Quando a soma das forças e a soma dos momentos que agem sobre um corpo são ambas iguais a zero, diz-se que o corpo está em equilíbrio. Esta situação aparece frequentemente quando o corpo está estacionário, o qual é tido como em estado de equilíbrio estático.



Um ginasta executando uma prancha nas argolas está em estado de equilíbrio estático.



As condições básicas exigidas para que um corpo esteja em equilíbrio podem ser usadas para determinar a magnitude e direção de uma força desconhecida. Se a vara for inclinada acima da horizontal, como normalmente se faz, a relação do braço do momento do peso da vara e da força vertical exercida pela mão de cima é a mesma que a exercida quando a vara é segurada na horizontal: 4 por 1.



- Um atleta de salto com vara segura uma vara paralela ao solo.
- A vara tem 5 m de comprimento.
- O atleta segura a vara com a mão direita a 10 cm da extremidade superior e com a mão esquerda a 1 m da extremidade superior.
- Embora a vara seja bastante leve (a sua massa é de apenas 2,5 kg), as forças que o atleta tem de exercer sobre ela para a manter nesta posição são consideráveis.
- Qual a magnitude destas forças? (Considere que o atleta exerce apenas forças verticais — para cima ou para baixo — sobre a vara horizontal e que o centro de gravidade da vara se situa no centro do seu comprimento.)

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Aplicar os conceitos de **deslocamento angular** e **velocidade angular** na descrição de movimentos do corpo envolvendo rotações (de um segmento e do corpo na totalidade).

Para aplicar os conceitos de **deslocamento angular** e **velocidade angular** na análise do corpo humano, devemos transitar da análise linear para a **análise de rotação**, que é a forma mais comum de movimento nos segmentos corporais devido à natureza das nossas articulações (eixos).

## Deslocamento Angular ( $\theta$ )

O deslocamento angular refere-se à mudança na orientação de um corpo ou segmento em torno de um eixo fixo. Ao contrário do deslocamento linear (medido em metros), este é medido em graus ou radianos:

- ❑ **Rotação de um Segmento** (Ex: Antebraço): Quando realizas uma flexão do cotovelo, o antebraço descreve um arco. O deslocamento angular é a diferença entre a posição final e a posição inicial do segmento em relação ao eixo da articulação.
- ❑ **Rotação do Corpo na Totalidade** (Ex: Mortal no Salto): No caso de um saltador de trampolim que executa um mortal, o corpo inteiro roda em torno do seu centro de gravidade (eixo transversal). O deslocamento angular quantifica quantas voltas ou graus o corpo completou no ar.

## Velocidade Angular ( $\omega$ )

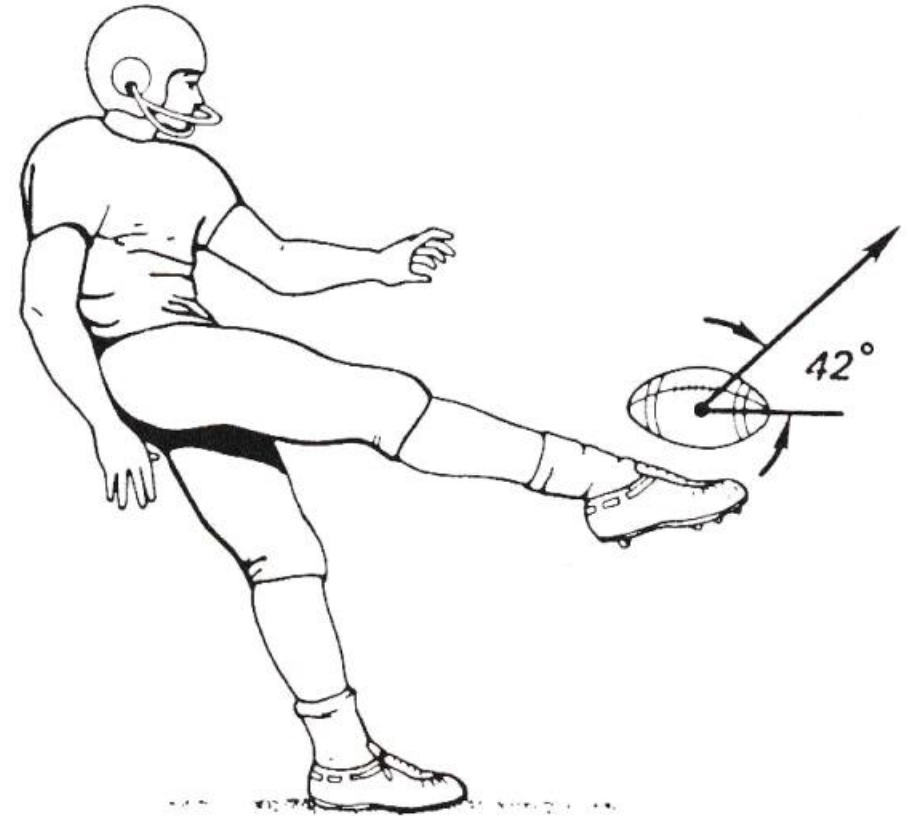
A velocidade angular é a taxa de variação do deslocamento angular ao longo do tempo ( $\omega = \Delta\theta / \Delta t$ ). É fundamental para descrever a rapidez com que um atleta consegue "girar".

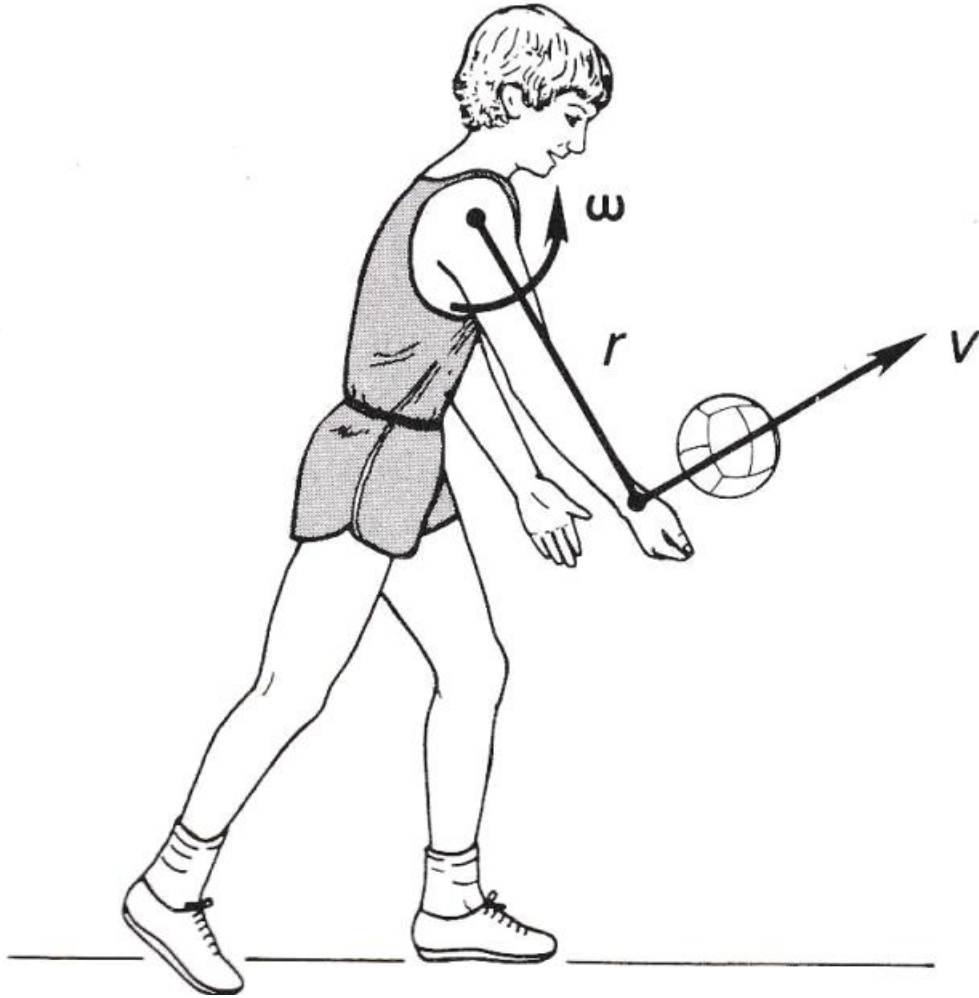
- ❑ **Importância na Performance:** Em desportos como o golfe ou o ténis, a velocidade angular da extremidade do taco ou raquete depende da velocidade angular dos segmentos corporais (tronco, ombro, braço).
- ❑ **Velocidade Angular vs. Linear:** quanto maior o comprimento do segmento (raio) e maior a sua velocidade angular, maior será a velocidade linear na extremidade.
  - *Exemplo:* Um lançador de basebol com braços longos pode gerar uma velocidade linear da bola muito alta se conseguir manter uma velocidade angular elevada no ombro.

## Aplicação em Situações Reais

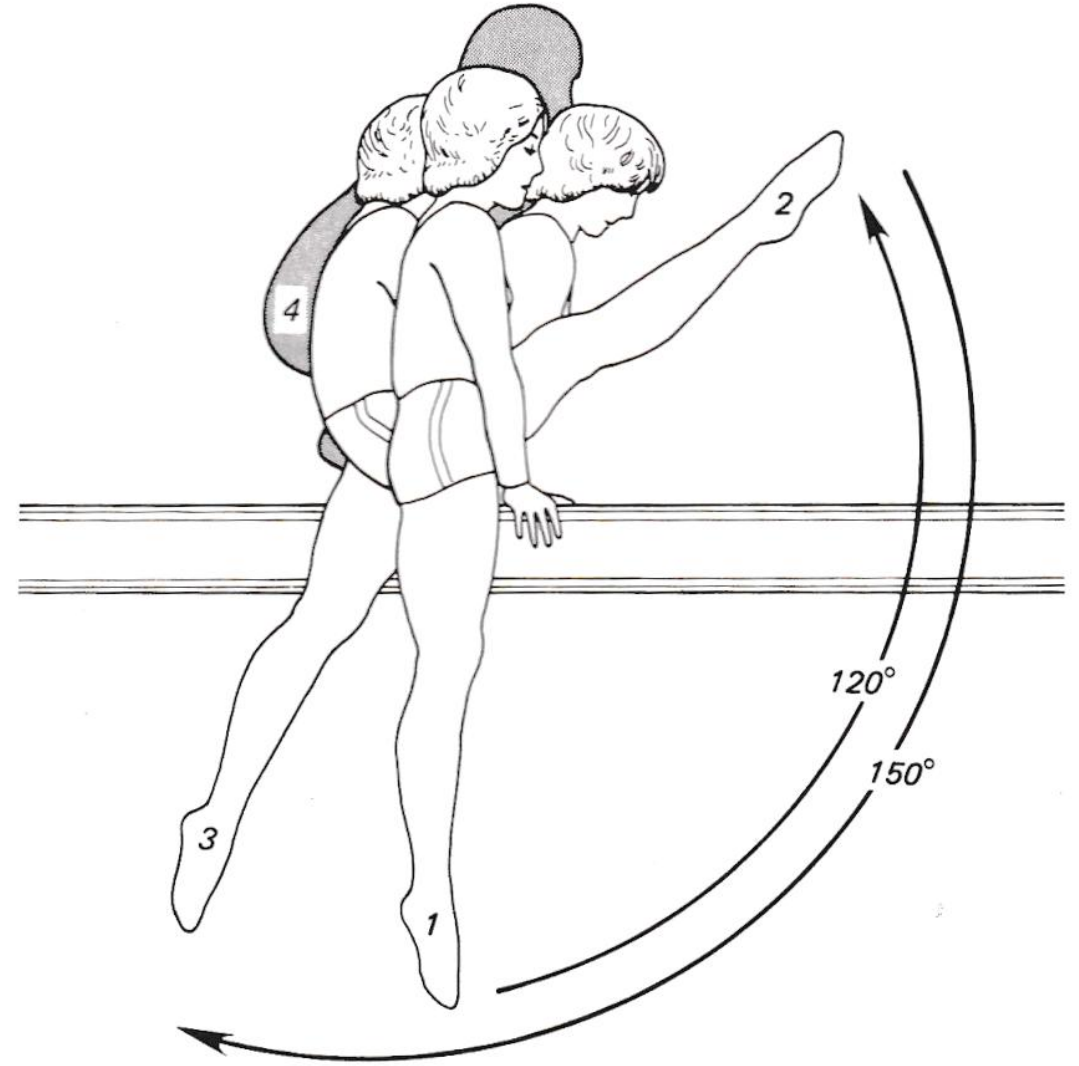
### A. Análise de um Pontapé no Futebol

1. **Eixo:** A articulação da anca funciona como o eixo de rotação.
2. **Deslocamento Angular:** A amplitude do balanço da perna antes de tocar na bola.
3. **Velocidade Angular:** A rapidez com que a coxa e a perna giram em direção à bola. Para maximizar a força do chute, o atleta aumenta a velocidade angular da perna instantes antes do impacto.

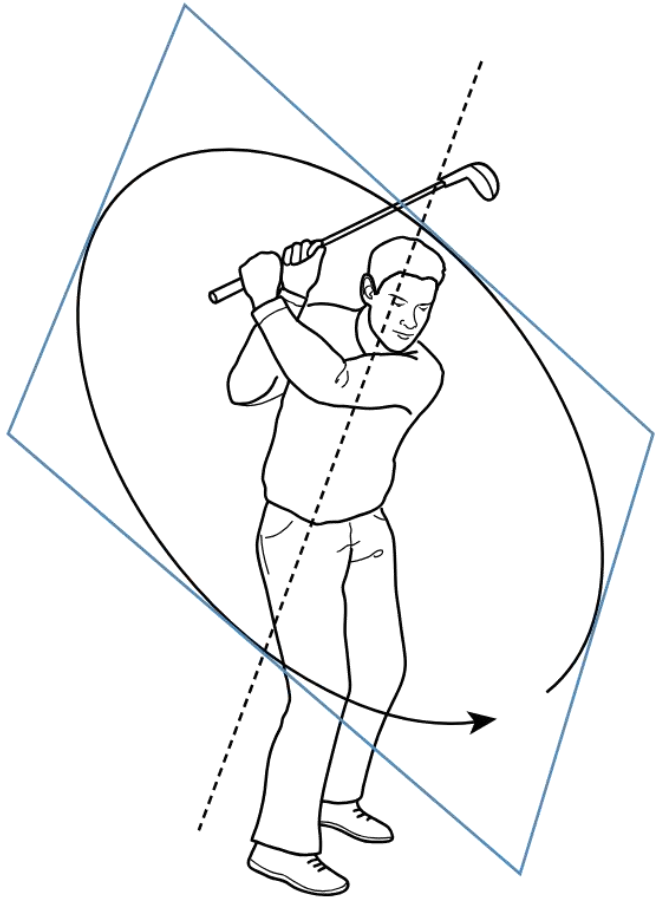




A velocidade da mão é igual ao produto da velocidade angular do braço pela distância da mão ao eixo de rotação.

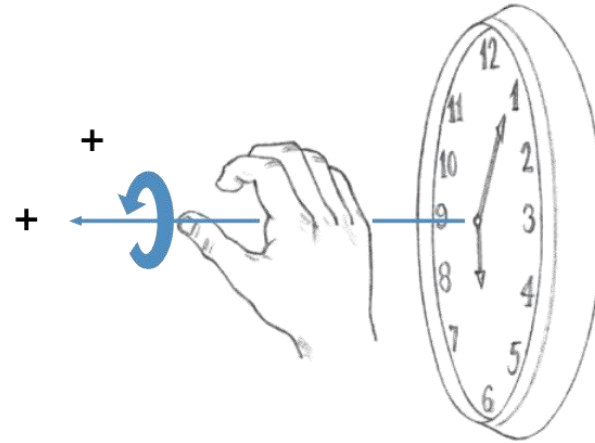
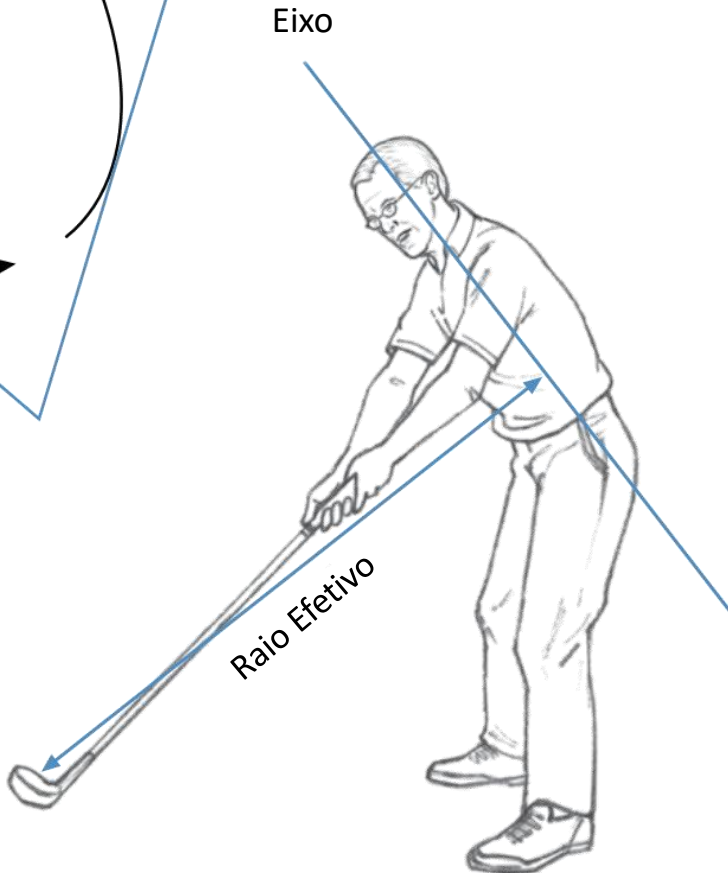


Distância e deslocamento angulares na execução de um exercício na trave.

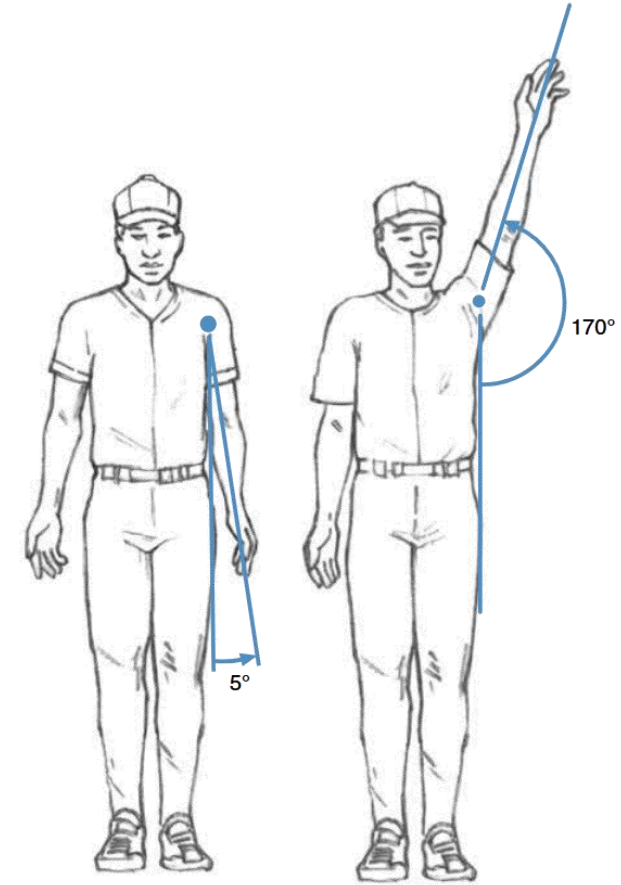


O eixo de rotação e o raio efetivo da cabeça do taco durante um swing de golfe.

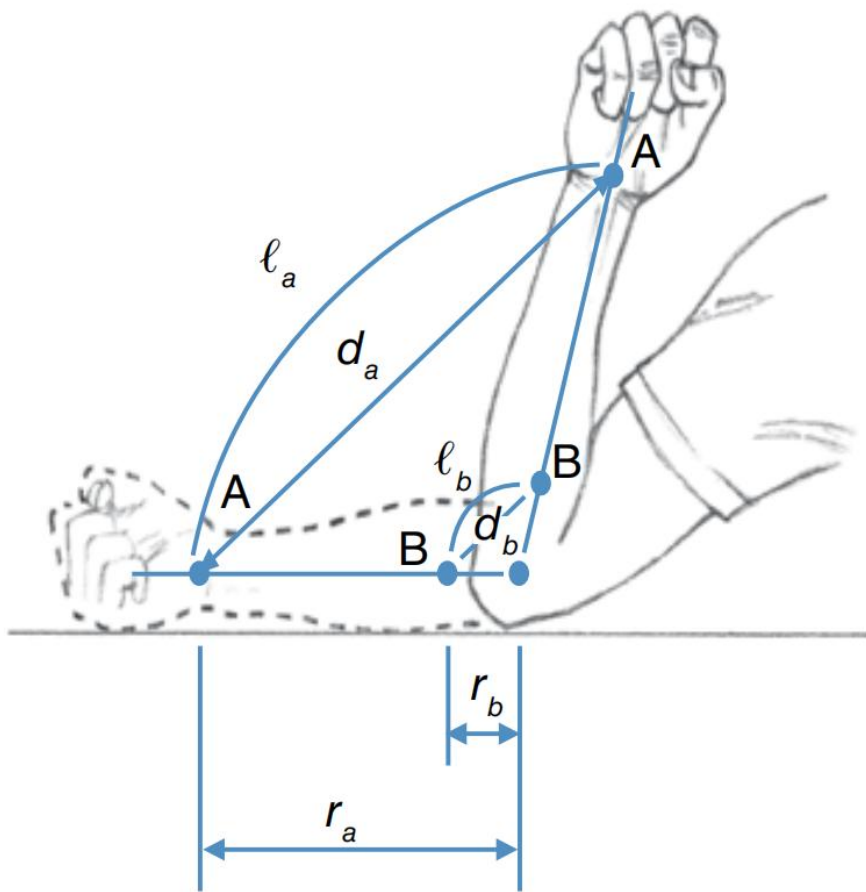
A **aceleração angular** ocorre quando algo gira cada vez mais depressa ou cada vez mais devagar, ou quando o eixo de rotação do objeto em rotação muda de direção.



**Regra da mão direita.** A direção para a qual os dedos se curvam indica a direção angular positiva se o polegar direito apontar na direção linear positiva ao longo do eixo de rotação.



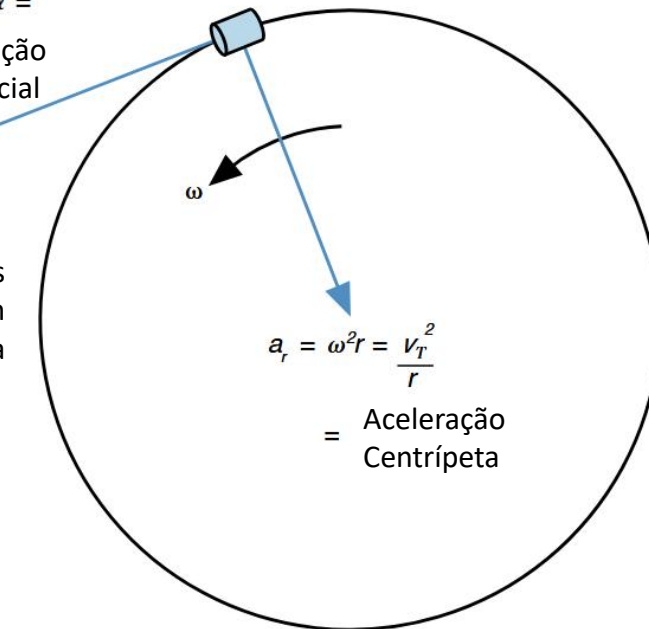
Deslocamento angular do braço de um lançador na articulação do ombro em torno do eixo antero-posterior



A distância que a mão ou o pulso (A) percorre ( $\ell_a$  ou  $d_a$ ) quando o cotovelo (B) flete é maior do que a distância que o ponto de inserção do bíceps percorre ( $\ell_b$  ou  $d_b$ ). A razão entre estas distâncias é a mesma que a razão entre o raio do raio  $r_a$  relativamente ao raio  $r_b$ .

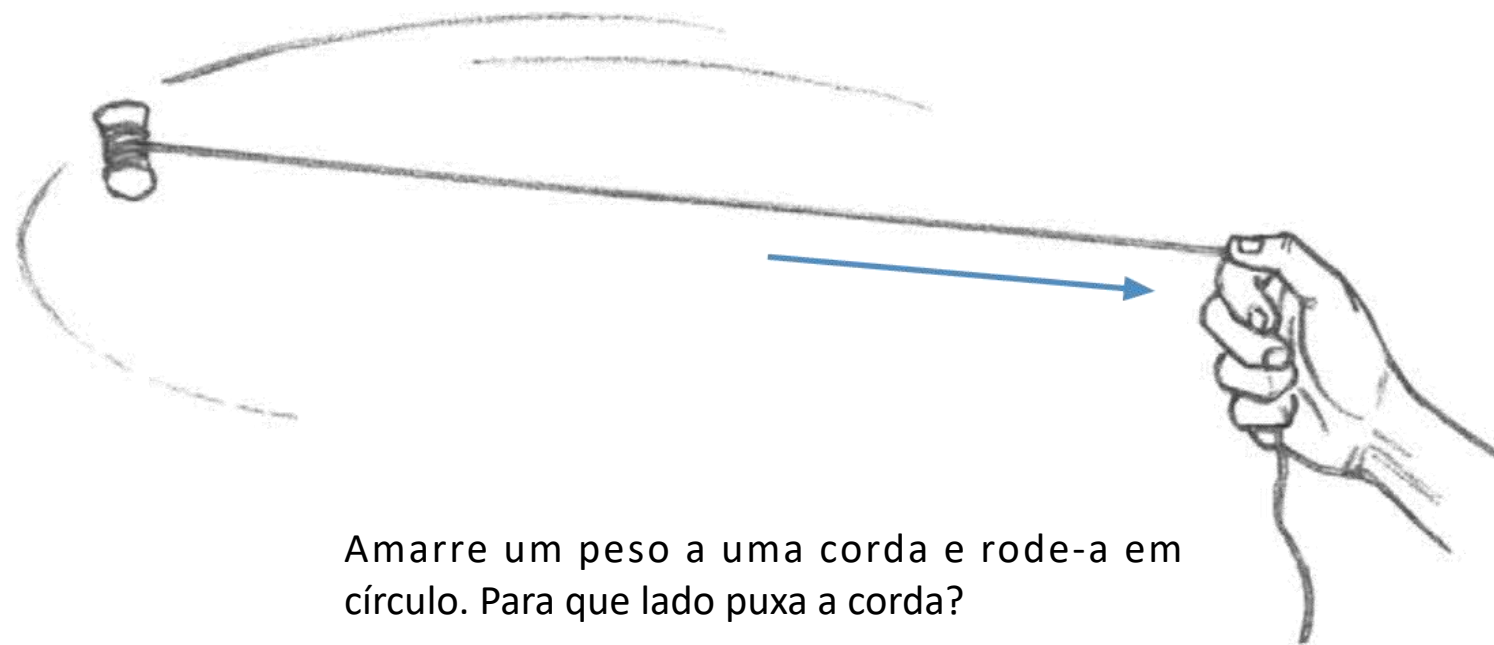
As direções das acelerações tangencial e centrípeta para um objeto que se move numa trajetória circular.

$a_T = r\alpha =$   
Aceleração  
Tangencial

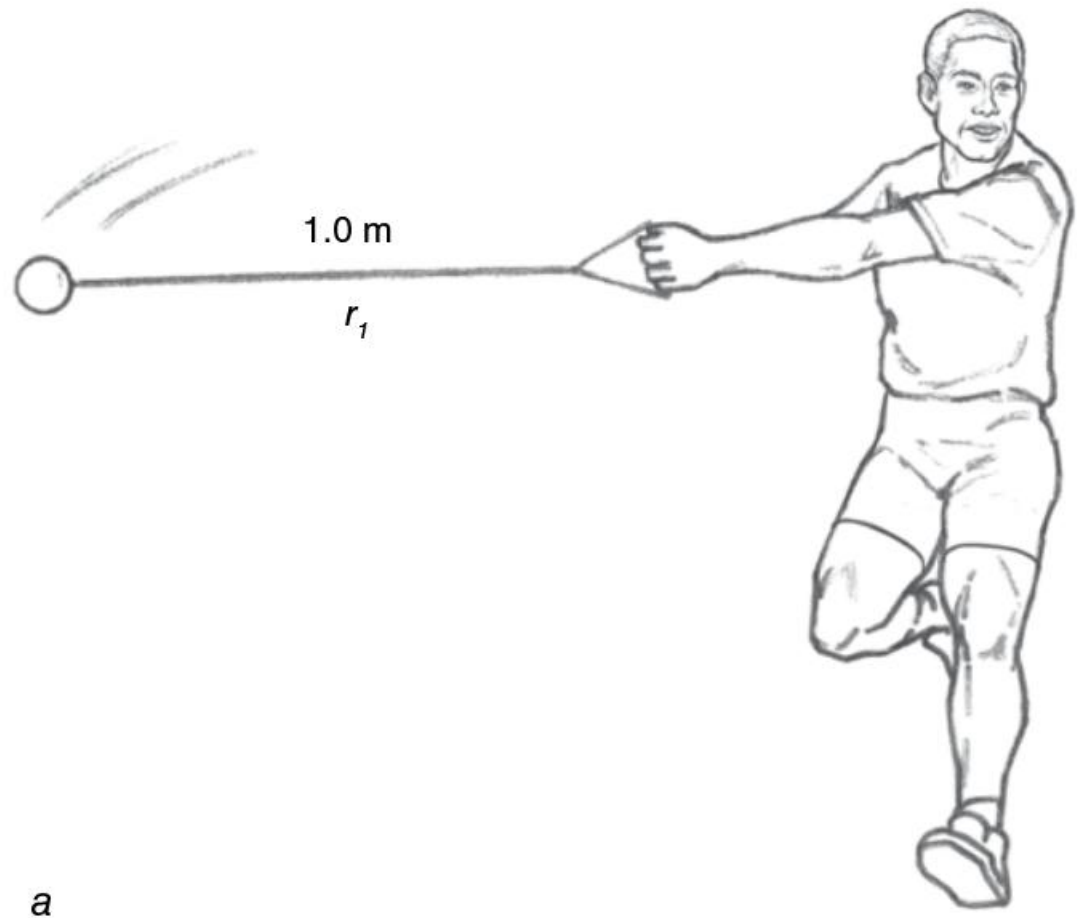


$$a_r = \omega^2 r = \frac{v_T^2}{r}$$

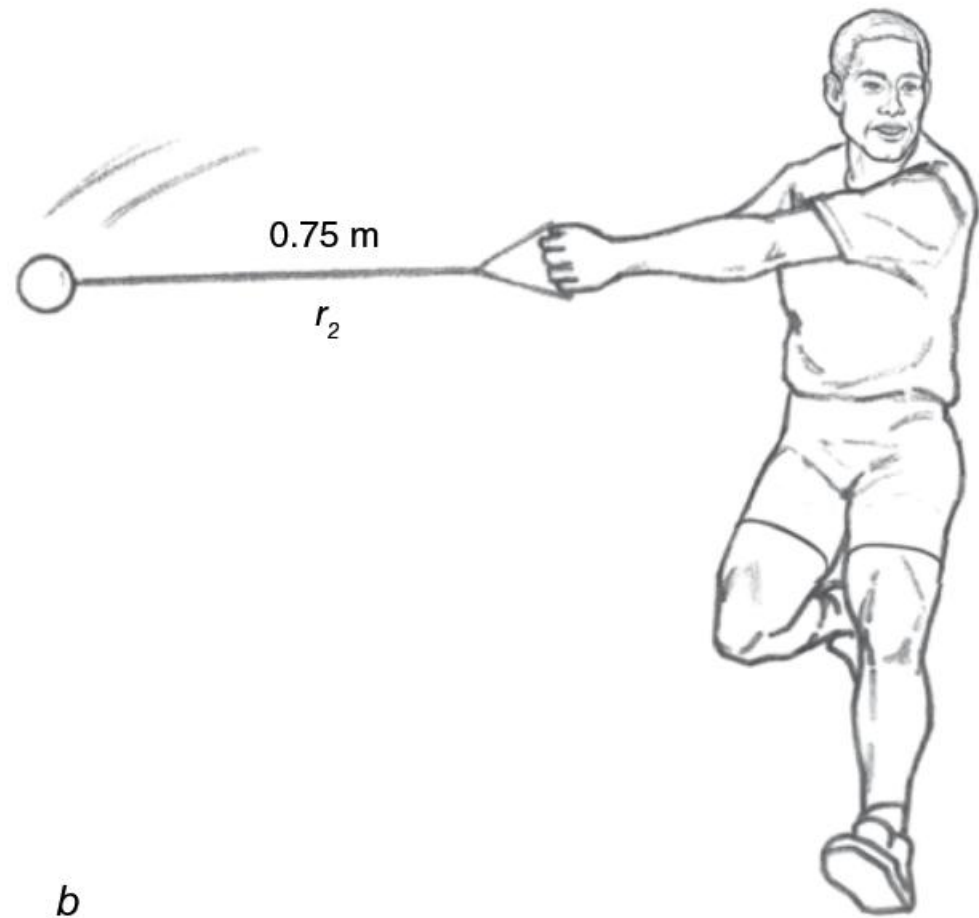
= Aceleração  
Centrípeta



Amarre um peso a uma corda e rode-a em círculo. Para que lado puxa a corda?



*a*

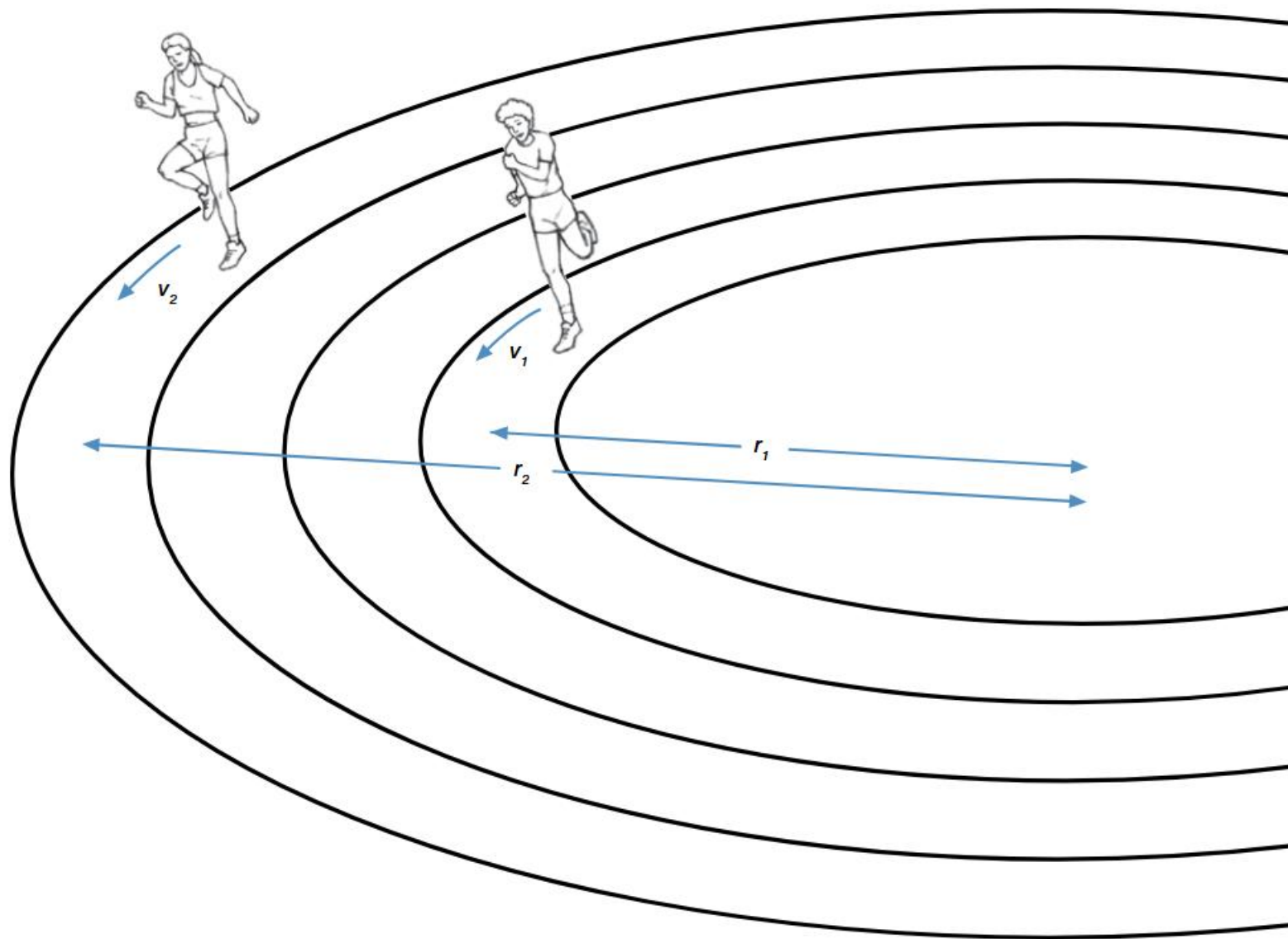


*b*

Um lançador de martelos que utilize um martelo com uma corrente de  $1,0\text{ m}$

- (a) deve exercer uma força centrípeta maior do que um lançador que utilize uma corrente de  $0,75\text{ m}$
- (b) se os dois martelos rodarem com a mesma velocidade angular ( $a_{r1} > a_{r2}$ , uma vez que  $\omega_1 = \omega_2$  e  $r_1 > r_2$ ). A aceleração centrípeta do martelo com a corrente de  $1,0\text{ m}$  é maior devido ao raio maior.

Um corredor na pista interior deve exercer mais força centrípeta através do atrito do que um corredor na pista exterior, se ambos os corredores tiverem a mesma velocidade linear ( $a_{r1} < a_{r2}$  se  $v_1 = v_2$ ). A aceleração centrípeta do corredor na pista interior é maior devido ao menor raio ( $r_1 < r_2$ ).



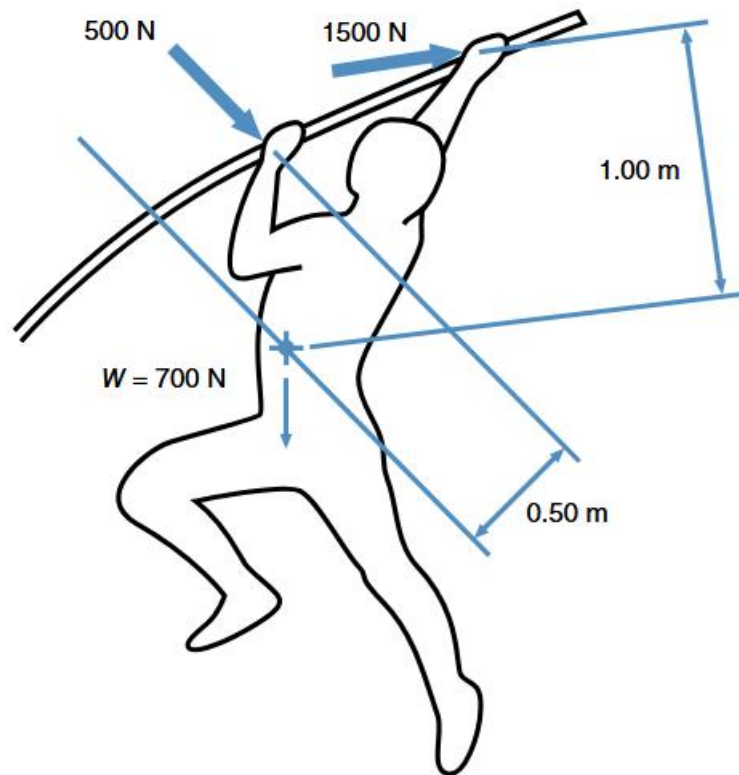
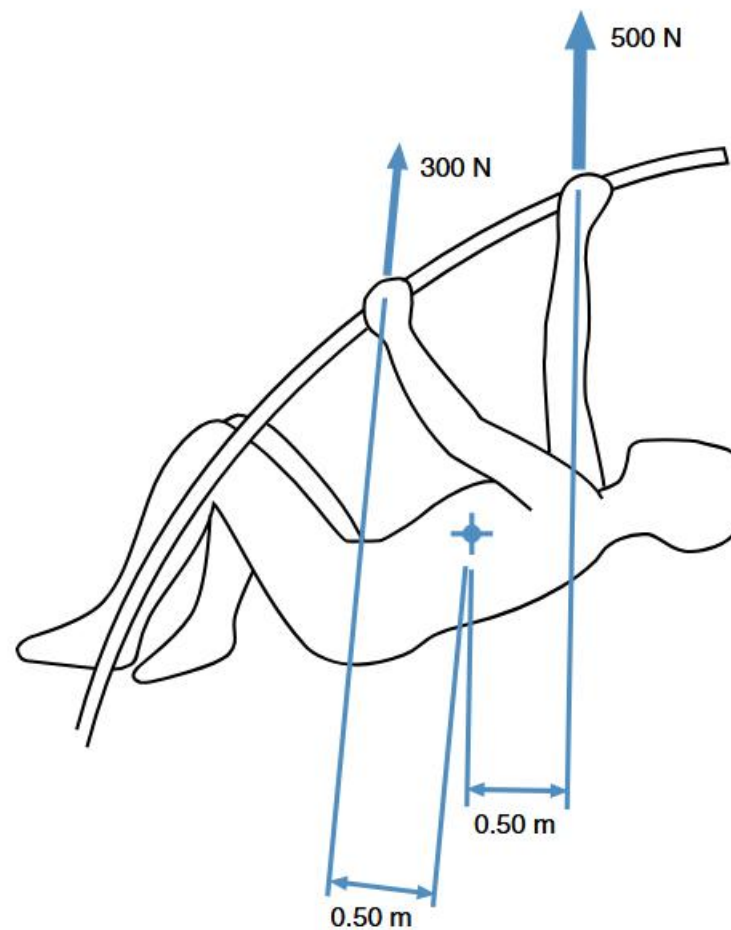
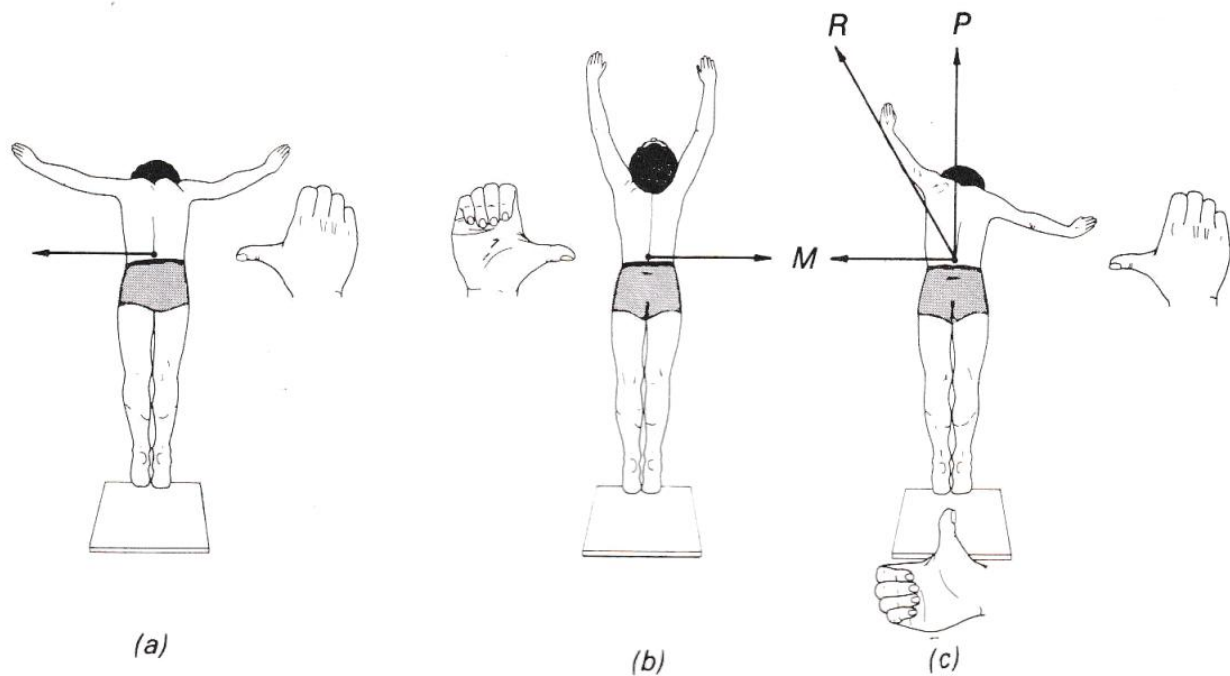


Diagrama de corpo livre de um saltador com vara logo após a descolagem. As forças de reação da vara criam **binários** no sentido horário no saltador.



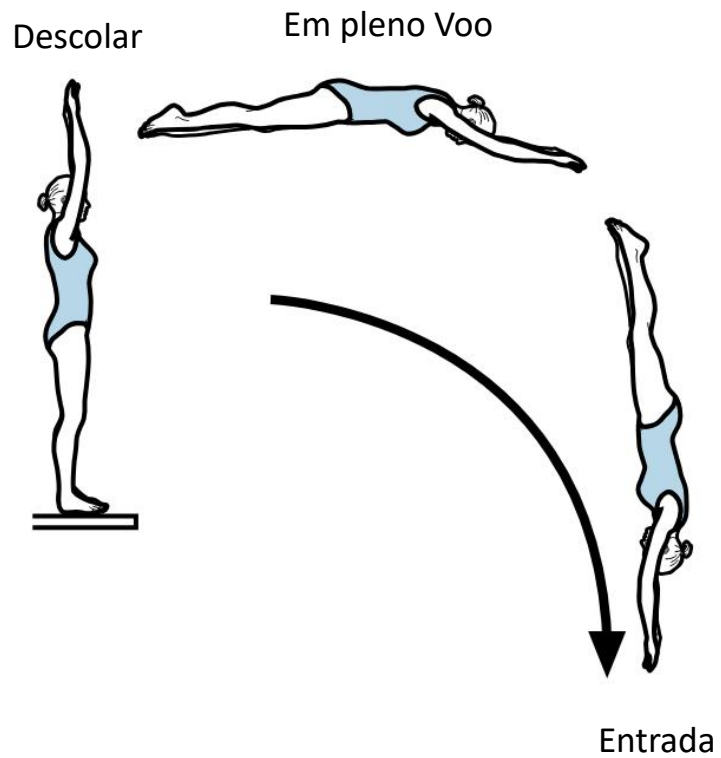
Esquema de corpo livre de um saltador com vara a meio do salto. As forças de reação da vara criam **binários** em sentidos opostos no saltador.



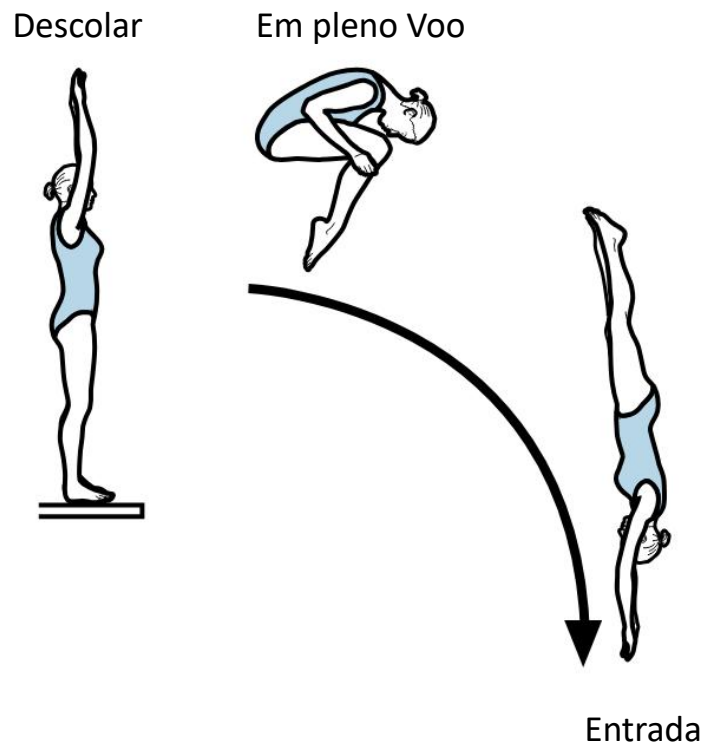
## B. Ginástica ou Saltos para a Água (Rotação Total)

No movimento de rotação total do corpo:

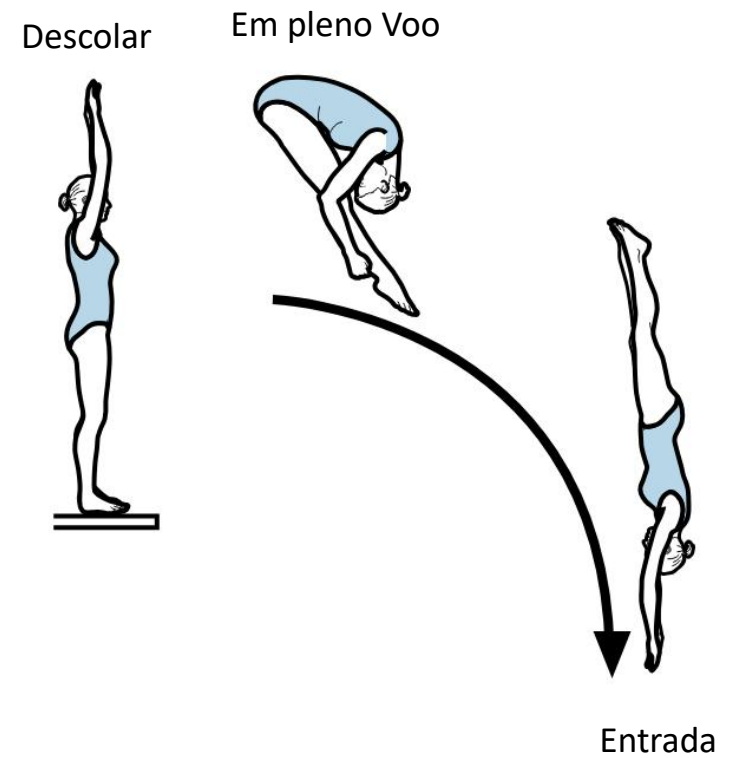
- O atleta controla a sua velocidade angular alterando a sua forma (momento de inércia).
- Ao encolher o corpo (posição grupada), o atleta diminui o raio de rotação, o que aumenta a sua velocidade angular, permitindo completar mais rotações (deslocamento angular) no mesmo intervalo de tempo de voo.



**Mergulho  
1**



**Mergulho  
2**



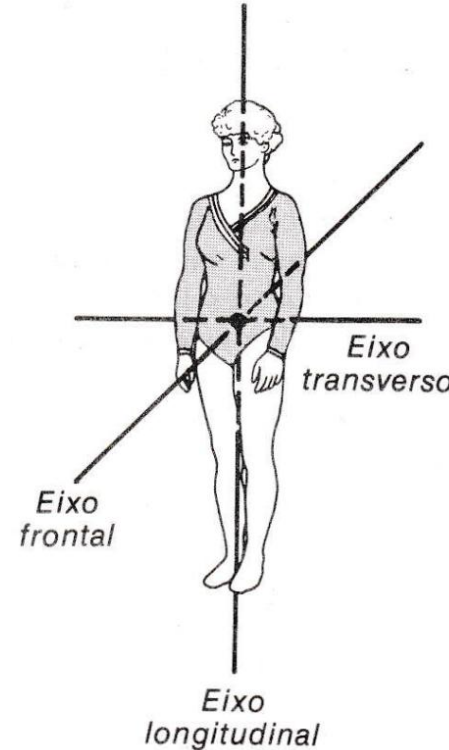
**Mergulho  
3**

Engrupado: O atleta diminui o raio de rotação, o que aumenta a sua velocidade angular.

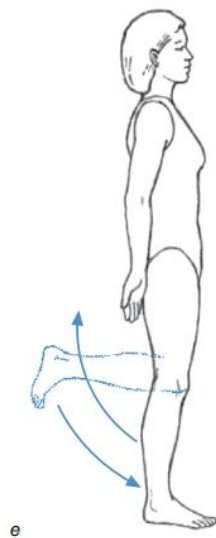
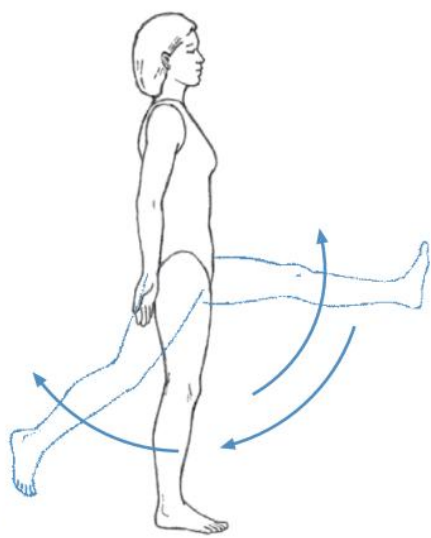
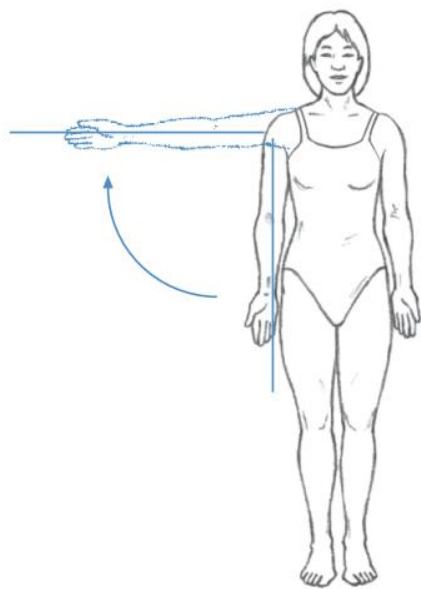
# Interpretação Técnica

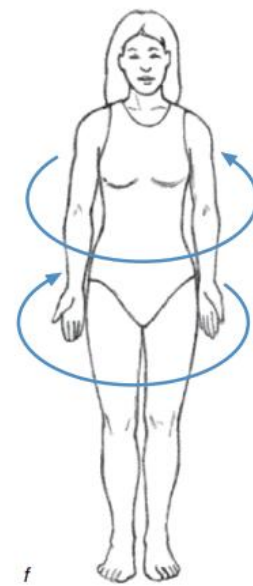
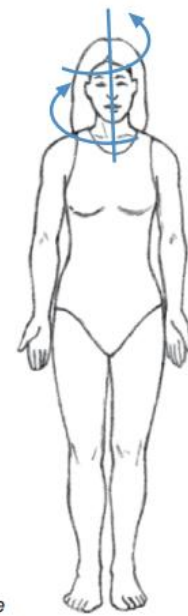
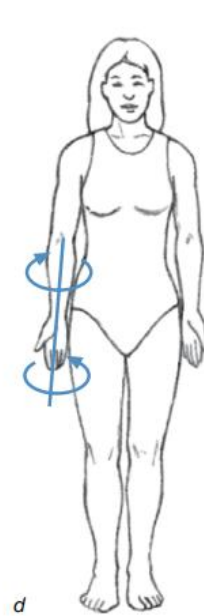
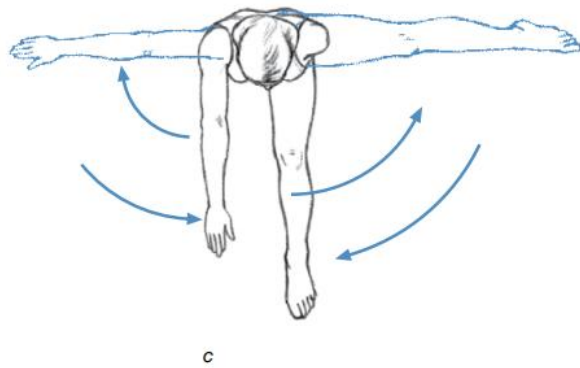
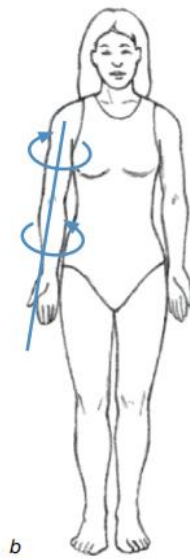
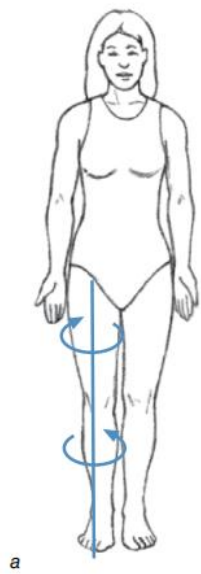
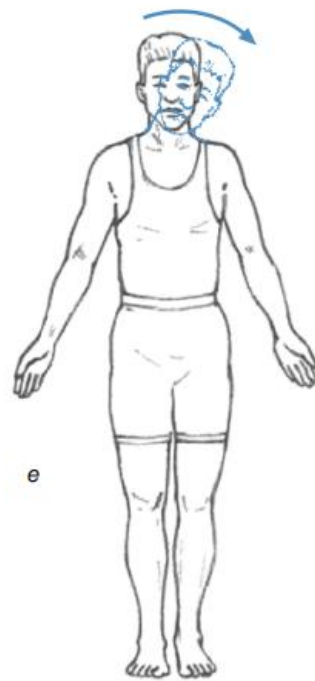
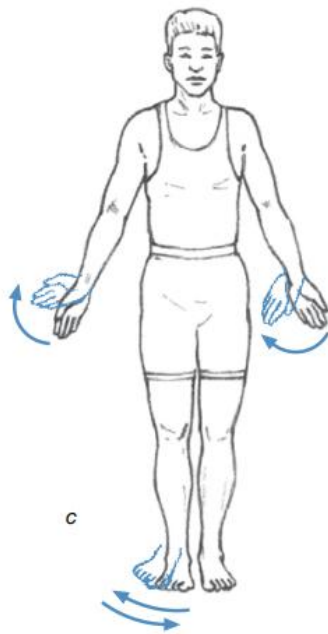
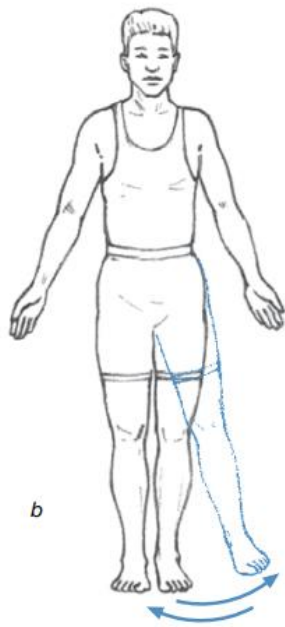
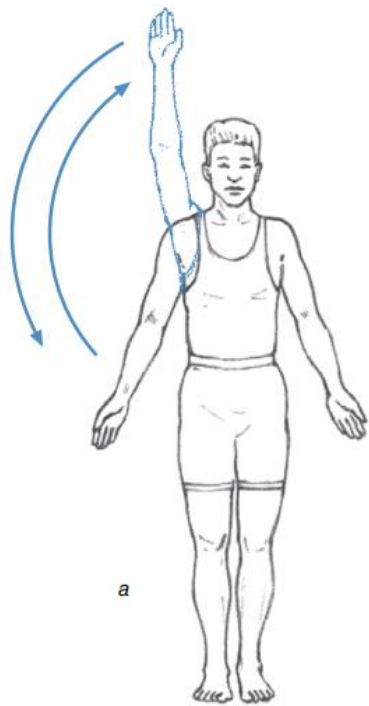
Para descrever estes movimentos de forma rigorosa, deve-se:

- 1. Identificar o Eixo:** Onde ocorre a rotação? (Ex: Articulação do ombro ou centro de gravidade do corpo).
- 2. Definir o Sentido:** No documento, as rotações podem ser descritas como horárias ou anti-horárias, frequentemente associadas a sinais (+ ou -) para cálculos biomecânicos.
- 3. Relacionar com o Tempo:** Usar software de análise de vídeo para medir quantos graus o segmento percorreu entre dois quadros (fotogramas) do filme para determinar a velocidade angular instantânea.



Posição	Eixos	Momento de Inércia (kgm <sup>2</sup> )
	Frontal	12,0-15,0
	Transverso	10,5-13,0
	Transverso	4,0-5,0
	Longitudinal	1,0-1,2
	Longitudinal	2,0-2,5





## Exemplo do Ciclismo

Para calcular a **velocidade angular** da pedaleira ( $\omega$ ), utilizamos a relação entre o ângulo percorrido (deslocamento angular) e o tempo gasto para o percorrer.

No contexto do ciclismo, o cálculo mais comum é derivado da **cadência** (RPM).

### 1. Cálculo a partir da Cadência (RPM)

A forma mais direta de obter a velocidade angular em radianos por segundo (rad/s), que é a unidade padrão na física/biomecânica, é converter as rotações por minuto:

$$\omega = \frac{RPM \times 2\pi}{60}$$

- RPM: Rotações por minuto (cadência).
- $2\pi$ : Representa uma volta completa em radianos (aprox. 6,28).
- 60: Conversão de minutos para segundos.

O valor de  $\pi$  (Pi) é uma constante matemática que representa a razão entre o comprimento de uma circunferência e o seu diâmetro.

Para os cálculos de biomecânica e análise do movimento (como a velocidade angular da pedaleira), os valores mais comuns utilizados são:

- Valor aproximado: 3,14
- Valor mais preciso (4 casas decimais): 3,1416

### Por que é importante no módulo?

Como a trajetória de um pedal ou de um segmento corporal em rotação é circular, o  $\pi$  é a "ponte" que nos permite converter voltas (rotações) em medidas lineares (metros) ou radianos:

- a) Uma volta completa:** Corresponde a  $2\pi$  radianos (aprox. **6,28 rad**).
- b) Perímetro da pedalada:** Se quiseres saber a distância que o teu pé percorre numa volta, calculas  $2 \times \pi \times$  comprimento da manivela/pedaleira.

**Exemplo Prático:** Se um ciclista pedala a **90 RPM**:

$$\omega = \frac{90 \times (2 \times 3,1416)}{60} = 9,42 \text{ rad/s}$$

### Cálculo por Deslocamento Angular ( $\Delta\theta$ )

Se for efetuada uma análise de um vídeo e for medido apenas uma parte da pedalada (ex: das 12h às 3h do diagrama de relógio):

- $\Delta\theta$ : Deslocamento angular em radianos (ou graus).
- $\Delta t$ : Intervalo de tempo (ex: tempo entre dois frames do vídeo).

Nota: Se usar graus, o resultado será em  $\frac{\circ}{s}$ . Para converter para radianos, multiplica por  $\frac{\pi}{180}$

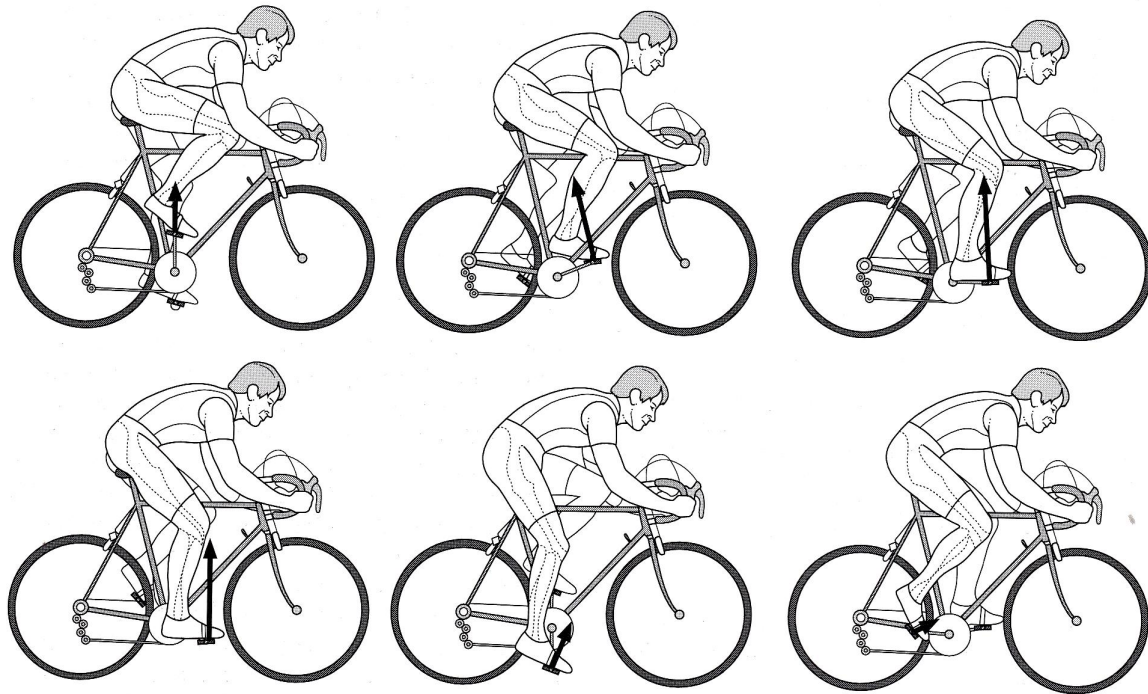
### Relação com a Velocidade Linear ( $v$ )

É importante para o técnico entender que a velocidade angular da pedaleira dita a velocidade linear do  $\frac{\text{pé}}{\text{pedal}}$ . O comprimento do braço da manivela ( $r$ ) é o raio:

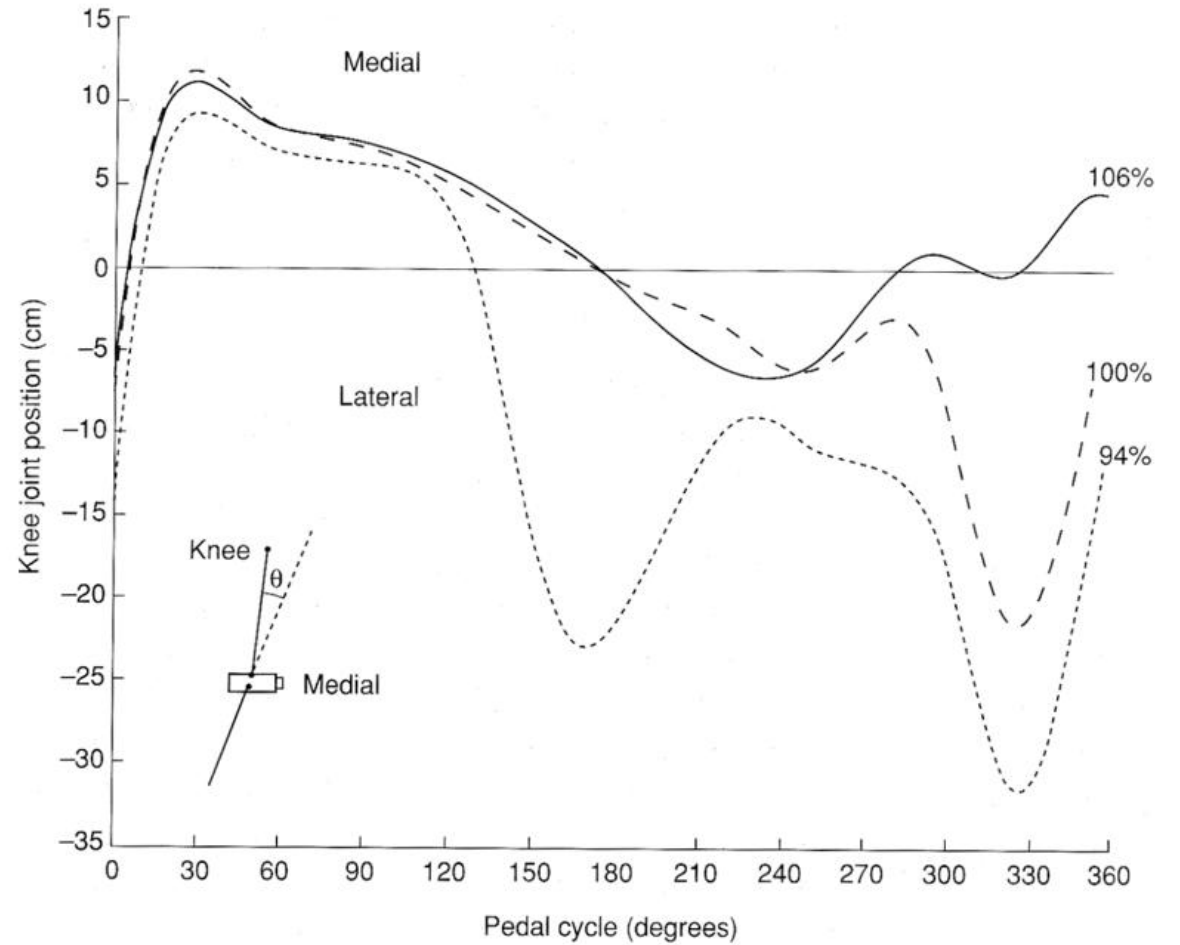
$$v = \omega \times r$$

- $\omega$  deve estar obrigatoriamente em rad/s.
- $r$  é o comprimento da manivela/pedaleira (ex: 0,172 m ou 172,5 mm).

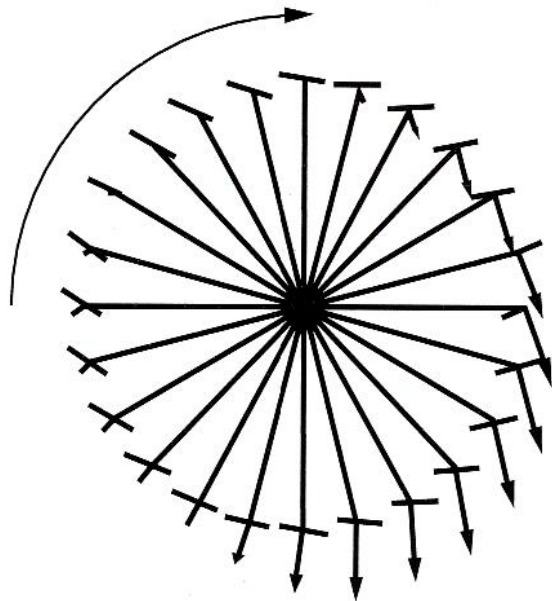
Variável	Unidade Comum	Unidade SI
Deslocamento	Graus ( $^{\circ}$ )	Radianos (rad)
Tempo	Segundos (s)	Segundos (s)
Velocidade Angular	RPM	$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$



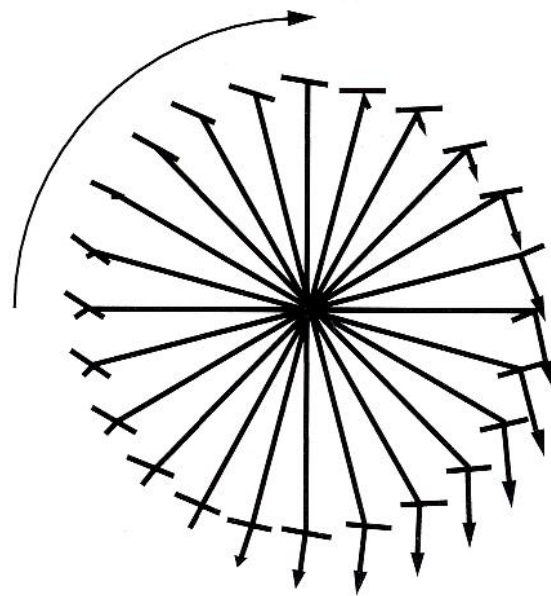
Força de reação resultante no pedal relativa à extremidade inferior direita em 6 localizações separadas durante o ciclo da pedalada. O comprimento da seta indica o aumento e a diminuição da magnitude da força.



Posição da força de reação do pedal relativamente ao joelho durante o ciclo da pedalada no plano frontal. Cada curva é uma média de 150 revoluções do pedal a 200 W e 80 rpm. Padrões separados são uma média em 3 condições de sentado: 94, 100 e 106% do comprimento



Direita



Esquerda

Para analisar o **movimento no ciclismo** utilizando um referencial de "relógio" (frequentemente chamado de ciclo da pedalada), aplicamos os conceitos de **cinemática angular e linear** para descrever a posição e a eficiência do movimento.

O diagrama de relógio divide a rotação de  $360^\circ$  do pedal em horas (12h, 3h, 6h, 9h), facilitando a identificação das fases do movimento:

## Descrição das Fases (Posição e Deslocamento)

- **Fase de Potência (Descida): Das 12h às 6h.**
  - a) **Posição Inicial:** Ponto Morto Superior (PMS) às 12h ( $0^\circ$ ).
  - b) **Deslocamento Angular:** O segmento da coxa e perna realizam uma extensão, deslocando o pedal em  $180^\circ$ .
  - c) **Aplicação:** É aqui que ocorre o maior deslocamento linear descendente da massa do atleta para gerar torque.
  
- **Fase de Recuperação (Subida): Das 6h às 12h.**
  - a) **Posição Inicial:** Ponto Morto Inferior (PMI) às 6h ( $180^\circ$ ).
  - b) **Deslocamento Angular:** Flexão do joelho e anca para retornar o pedal à posição inicial.

## Velocidade Angular ( $\omega$ ) no Ciclismo

A velocidade angular no ciclismo é vulgarmente conhecida como **cadência** (RPM - rotações por minuto).

- Se um ciclista mantém uma cadência constante, a sua velocidade angular é uniforme em todo o círculo.
- **Velocidade Linear Resultante:** Segundo os princípios mecânicos, a velocidade linear do pedal depende do comprimento do braço da manivela (raio). Uma manivela (Crank) mais longa percorre uma distância linear maior no mesmo tempo para a mesma velocidade angular.

## Aceleração e Eficiência

Embora a cadência possa parecer constante, a **velocidade angular instantânea** sofre variações dentro do ciclo do relógio:

- **Aceleração:** Ocorre geralmente entre as 2h e as 4h do "relógio", onde a vantagem mecânica é máxima.
- **Desaceleração (Pontos Mortos):** Às 12h e 6h, a força aplicada é paralela ao braço da manivela, resultando em aceleração angular zero. O objetivo do treino técnico é minimizar estas variações de velocidade para tornar o "círculo" mais fluido.

8<sup>th</sup> Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA)

Prediction of energy efficient pedal forces in cycling using musculoskeletal simulation models

Franz Höchtl<sup>1,\*</sup>, Harald Böhm<sup>2</sup>, Veit Senner<sup>1</sup>

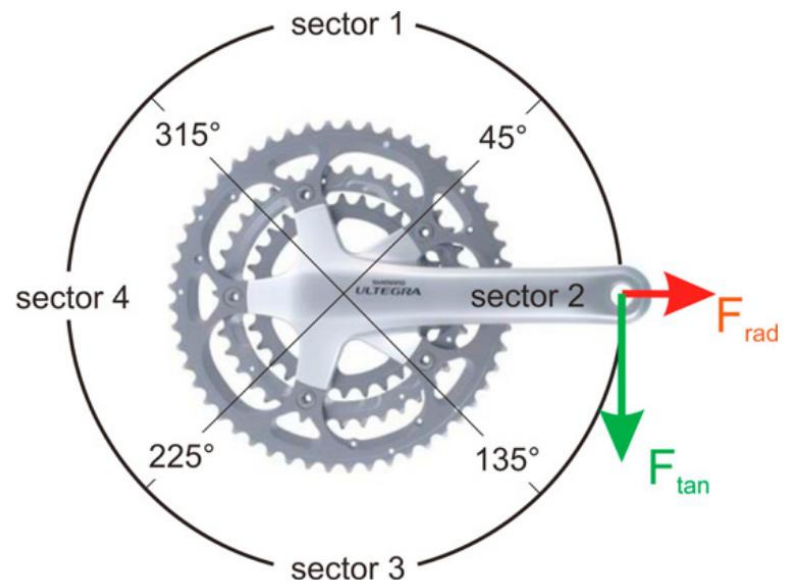
<sup>1</sup>Department of Sport Equipment and Materials, TU Munich, Boltzmannstr. 15, 85747 Garching, Germany

<sup>2</sup>Behandlungszentrum Aschau GmbH, Bernauer Straße 18, 83229 Aschau i. Chiemgau, Germany

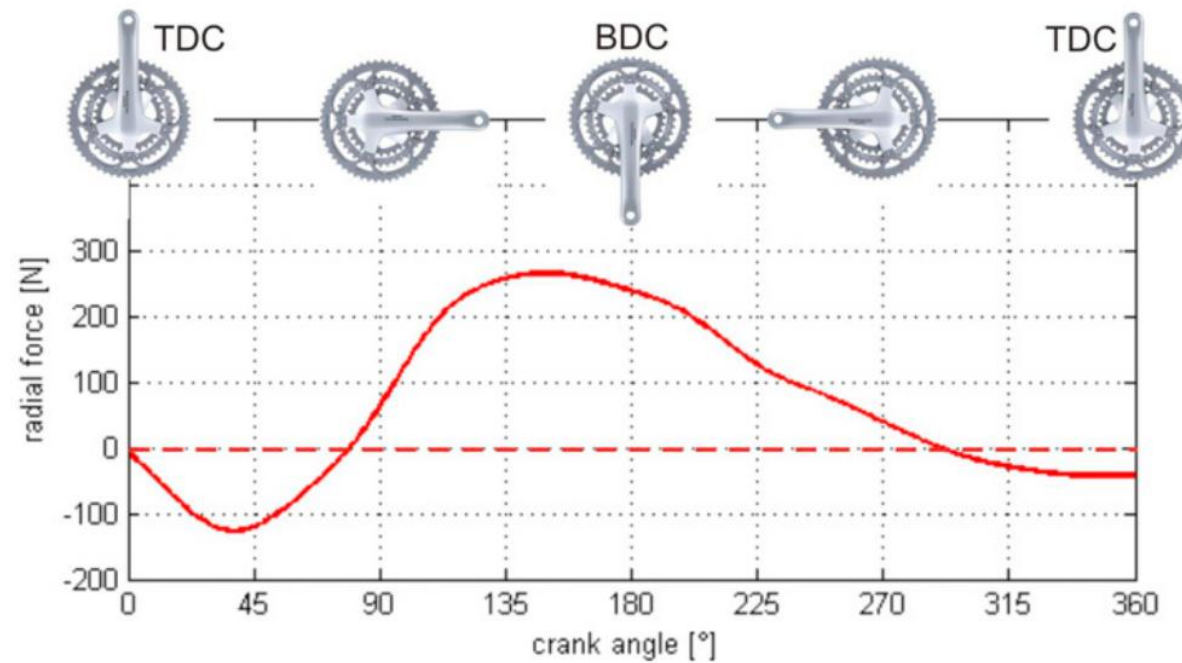
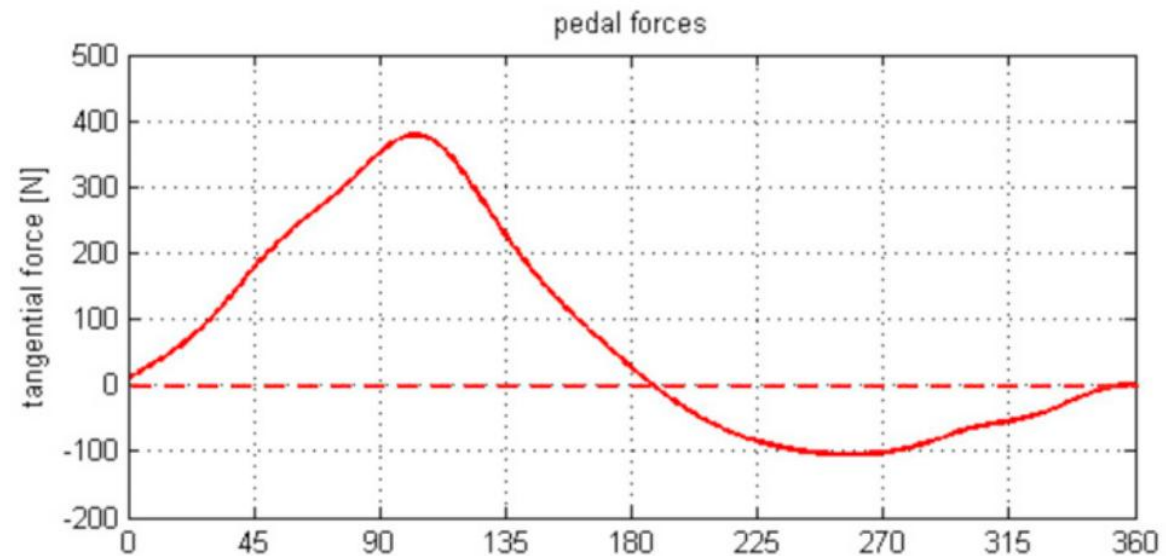
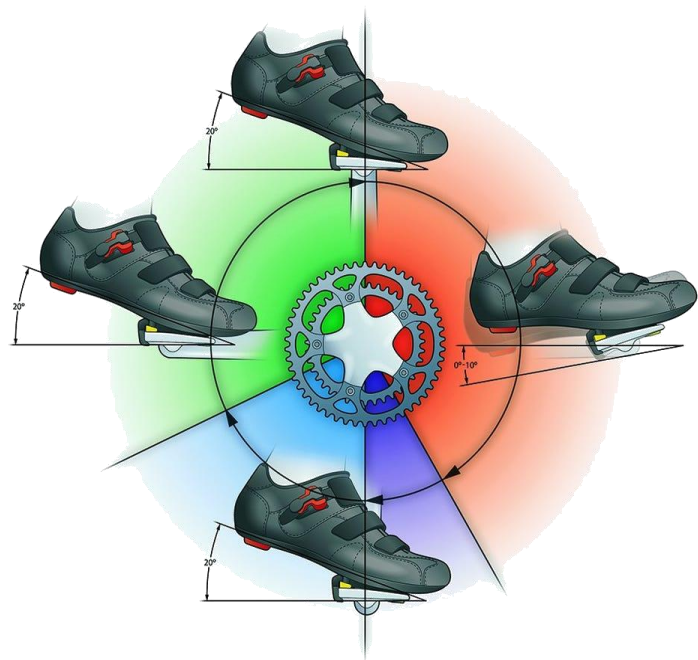
Received 31 January 2010; revised 7 March 2010; accepted 21 March 2010

$$IE = \frac{\int F_{\tan} d\varphi}{\int \sqrt{F_{\tan}^2 + F_{rad}^2} d\varphi}$$

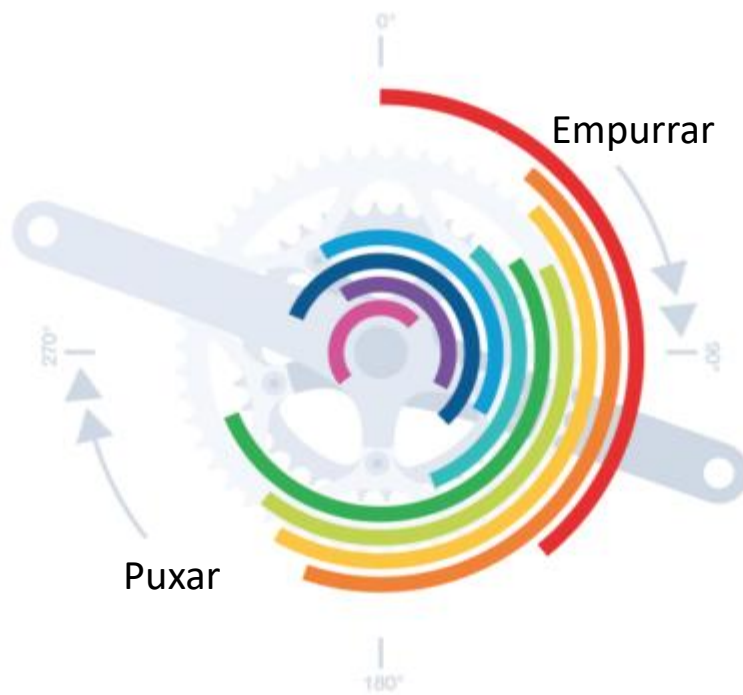
Davis e Hull desenvolveram o Índice de Eficiência (IE) para quantificar a qualidade da técnica de pedalada.













Forças radiais e tangenciais aplicadas ao pedal direito, utilizadas para o cálculo do índice de eficiência.

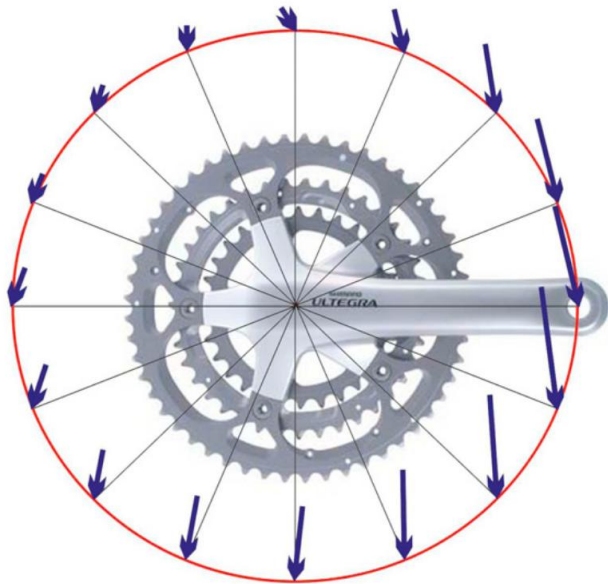


Forças radiais e tangenciais para um consumo metabólico minimizado de energia.

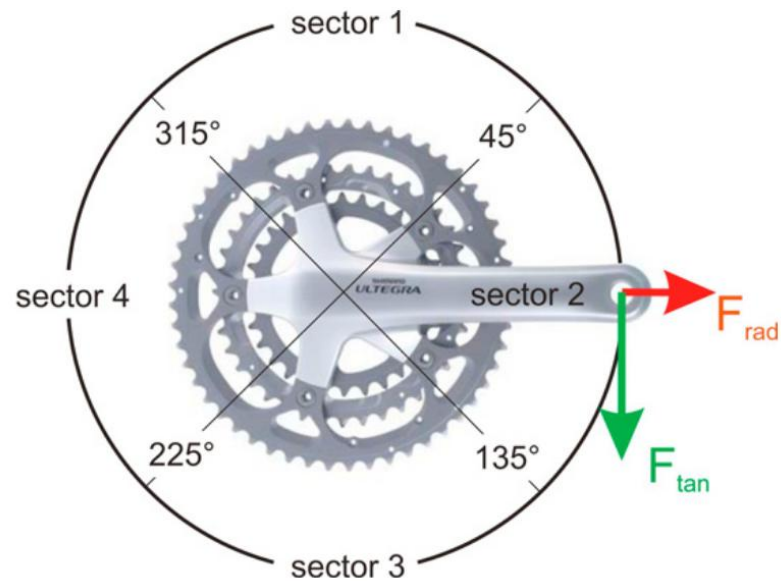


- |               |   |                                |
|---------------|---|--------------------------------|
|               |    | Grande Glúteo <b>GMX</b>       |
| Esquiáticos   |    | Bicípede Femoral <b>BF</b>     |
|               |    | Semimembranoso <b>SM</b>       |
|               |   | Gastrocnemio Medial <b>GM</b>  |
| Gêmeos        |  | Gastrocnemio Lateral <b>GL</b> |
|               |  | Solear <b>SOL</b>              |
| Quadricípedes |  | Vasto Lateral <b>VL</b>        |
|               |  | Reto Fémoral <b>RF</b>         |
|               |  | Vasto Medial <b>VM</b>         |
|               |  | Tíbio Anterior <b>TA</b>       |





Direção e magnitude da força da pedalada durante a rotação da pedaleira/manivela/Crank



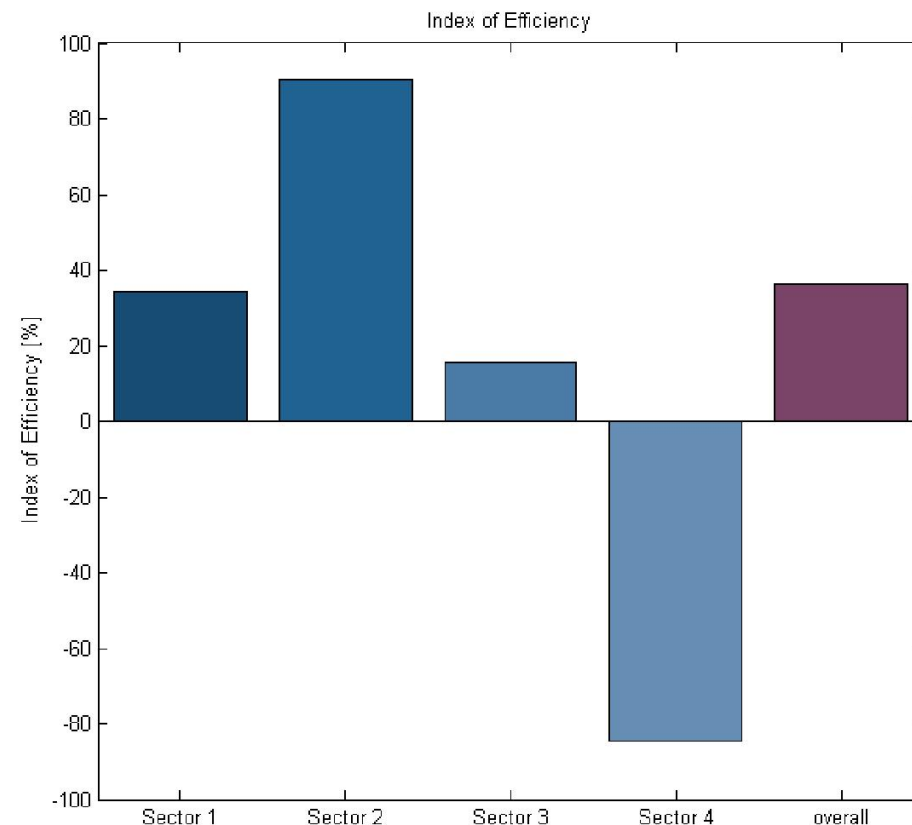
Forças radiais e tangenciais aplicadas ao pedal direito, utilizadas para o cálculo do índice de eficiência.

## Referenciais Biomecânicos

Para uma análise técnica, o referencial pode ser:

- Fixo:** O eixo do pedaleiro (centro do relógio).
- Móvel:** A articulação do joelho, analisando o deslocamento angular da perna em relação à coxa durante cada "hora" do ciclo.

Esta interpretação permite ao técnico de desporto identificar, por exemplo, se um atleta está a aplicar força demasiado tarde (ex: às 5h em vez das 3h) ou se tem uma recuperação passiva que trava o movimento do pedal oposto.



Índice de Eficiência para os 4 setores da rotação da pedaleira (manivela: crank)

# FORÇAS INTERNAS

As forças externas que atuam sobre o corpo impõem cargas que afetam as estruturas internas do corpo.

### Forças Internas:

- Stresse.
- Tensão ou Tração.
- Compressão.
- Cisalhamento (Stress de corte ou transversal).
- Torção.
- Deformação (Resposta Física).

### Stresse (Tensão Mecânica)

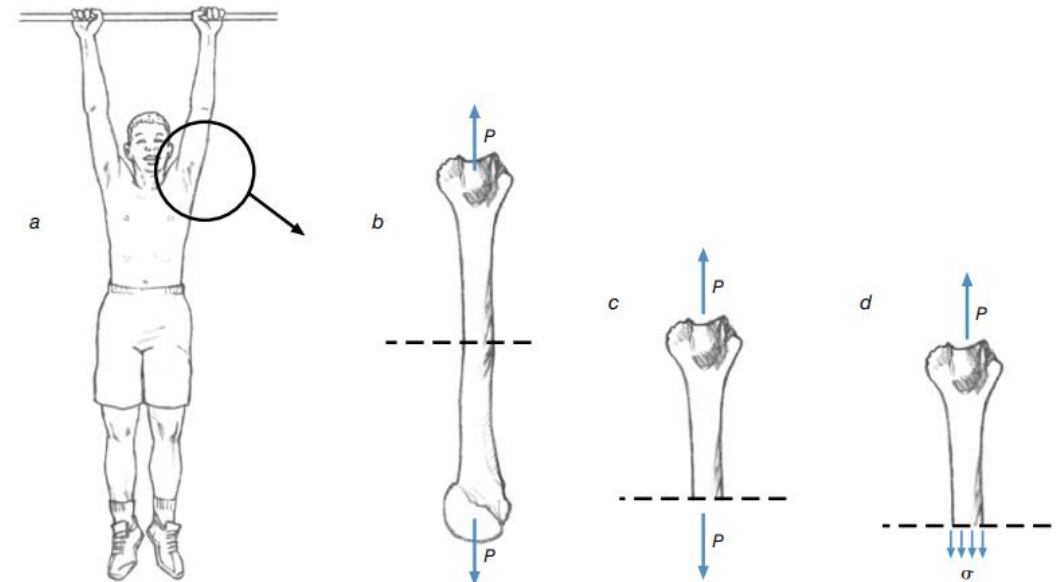
O **stresse** ( $\sigma$ ) não é uma força isolada, mas sim a distribuição de uma força interna por uma determinada área.

- Definição:** É a intensidade da força interna dividida pela área da seção transversal sobre a qual a força atua.
- Fórmula:**  $\text{Stresse} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}$
- Importância:** Ajuda a perceber por que uma mesma força pode causar uma lesão num osso fino mas não num osso grosso.

### Tensão ou Tração

É um tipo de stresse axial que ocorre quando forças agem no sentido de "puxar" as extremidades de um corpo para fora.

- Definição:** Uma carga que tende a esticar ou alongar o objeto.
- Exemplo Biomecânico:** Ocorre nos tendões quando o músculo se contrai e nos ligamentos quando uma articulação é forçada além do limite.

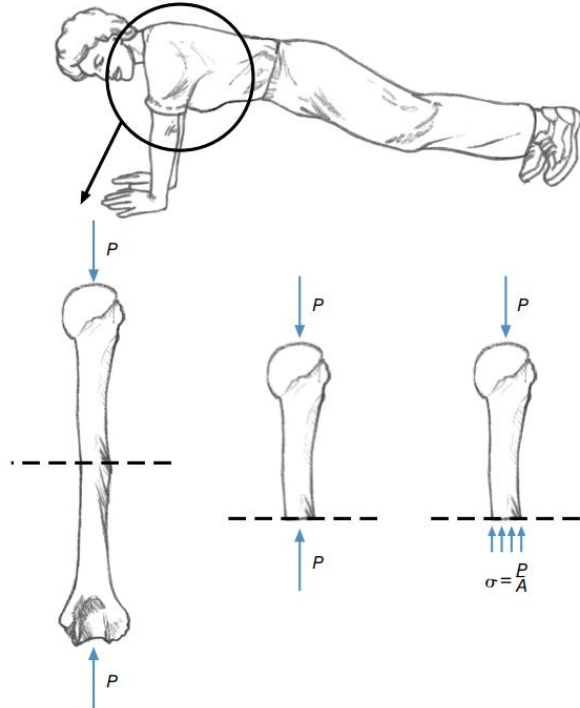


O úmero é sujeito a uma tensão axial quando faz uma flexão de braços na barra fixa.

## Compressão

É o oposto da tração. Ocorre quando as forças agem no sentido de "esmagar" ou empurrar as extremidades de um corpo uma contra a outra.

- ❑ **Definição:** Uma carga axial que tende a encurtar ou comprimir o objeto.
- ❑ **Exemplo Biomecânico:** Os ossos longos (como o fêmur) sofrem compressão constante devido ao peso do corpo e à gravidade durante a marcha.



O úmero é sujeito a compressão axial quando se faz uma flexão de braços.

## Cisalhamento (Stresse de corte ou transversal)

Diferente da tração e compressão, esta força atua paralelamente à superfície.

- ❑ **Definição:** Uma carga que tende a fazer deslizar duas partes de um corpo em direções opostas, uma sobre a outra.
- ❑ **Exemplo Biomecânico:** Ocorre nas vértebras da coluna ou nas articulações (como o joelho) quando há um movimento de translação lateral brusco. É o tipo de força que mais facilmente causa lesões em tecidos biológicos.

## Torção

Ocorre quando um objeto é "torcido" em torno do seu eixo longitudinal.

- ❑ **Definição:** Uma carga que ocorre quando forças criam momentos de rotação em sentidos opostos nas extremidades de um corpo.
- ❑ **Exemplo Biomecânico:** Quando um jogador de futebol trava o pé no relvado e o corpo roda sobre a perna fixa, o osso (tíbia) sofre uma carga de torção, o que pode resultar numa fratura em espiral.

## Deformação (Resposta Física)

Enquanto os pontos anteriores descrevem as **cargas** (as causas), a deformação é a **consequência**.

- ❑ **Definição:** É a mudança relativa na configuração (forma ou tamanho) do corpo como resposta ao stresse aplicado.
- ❑ **Cálculo:** É a razão entre a mudança de comprimento e o comprimento original ( $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ ).
- ❑ **Resposta Física:** Se o stresse for removido e o corpo voltar ao normal, a deformação foi **elástica**. Se a força for excessiva e o corpo ficar deformado ou romper, atingiu-se o **limite plástico**.

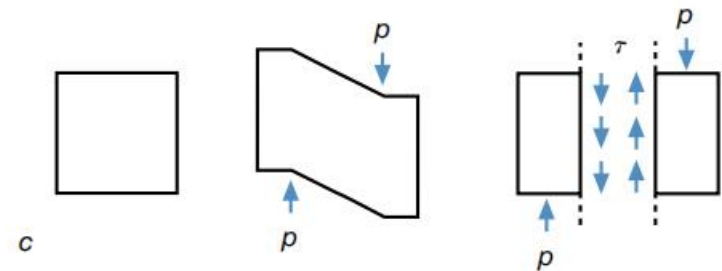
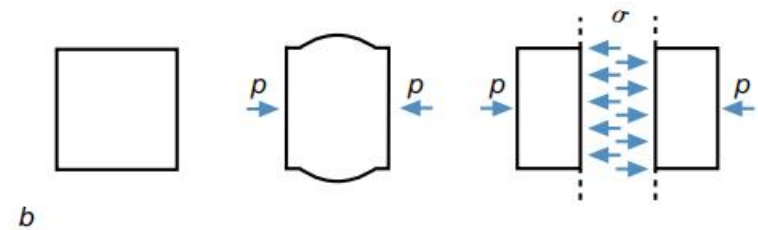
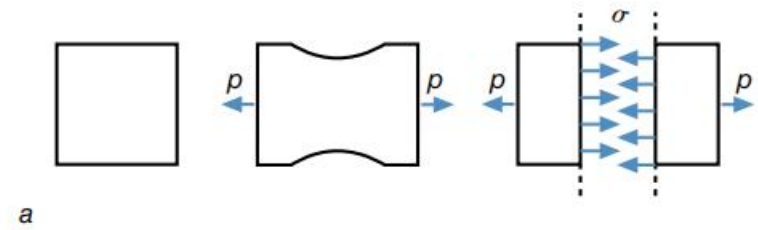


Ilustração de cargas simples que produzem as três tensões mecânicas:

- ❑ Tração (a)
- ❑ Compressão (b)
- ❑ Cisalhamento (c)

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

## **3. INSTRUMENTAÇÃO** e análise de movimentos

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Compreender a importância da coordenação nas técnicas e meios de análise qualitativa e quantitativa dos movimentos.

A coordenação é o "maestro" do movimento humano. Para o teu estudo do **Módulo 4**, compreender como ela se manifesta e como pode ser medida é fundamental para distinguir um movimento eficiente de um ineficiente.

A análise do movimento divide-se em duas grandes vertentes que se complementam:

### **Análise Qualitativa (O "Olhar" do Especialista)**

Esta análise foca-se na forma e na sequência do movimento. Não utiliza números complexos, mas sim a observação sistemática baseada em critérios biomecânicos.

**Importância da Coordenação:** Através da observação, identificamos se existe continuidade biocinética. Por exemplo, num lançamento, verificamos se a força flui desde as pernas até à ponta dos dedos sem interrupções.

Meios de Análise:

- Observação Direta:** O treinador avalia o gesto em tempo real.
- Listas de Verificação (Checklists):** Comparação do movimento do atleta com um "modelo ideal".
- Vídeo Análise Simples:** Observação em câmara lenta para detetar erros de sincronização.

### **Análise Quantitativa (A Precisão dos Dados)**

Aqui, a coordenação é traduzida em números, permitindo medir exatamente a eficácia do gesto.

**Importância da Coordenação:** Permite analisar a sincronização temporal. Podemos medir, em milissegundos, o tempo entre a ativação de um músculo e o início do movimento (coordenação intramuscular e intermuscular).

Meios de Análise:

- Cinematometria (Vídeo Análise Digital):** Mede ângulos, velocidades e acelerações dos segmentos.
- Dinamometria:** Utiliza plataformas de força para medir a intensidade e direção das forças de reação do solo.
- Eletromiografia (EMG):** Mede a atividade elétrica dos músculos para perceber se estão a contrair na ordem e intensidade corretas.

Característica	Análise Qualitativa	Análise Quantitativa
<b>Foco</b>	Qualidade técnica e estética	Dados numéricos e variáveis físicas
<b>Custo</b>	Baixo (requer conhecimento técnico)	Alto (requer equipamento especializado)
<b>Feedback</b>	Imediato e descritivo	Posterior e estatístico
<b>Exemplo</b>	"Flecte mais os joelhos na receção"	"Ângulo de flexão do joelho: 125°"

## A Coordenação como Elo de Ligação

Tanto na análise qualitativa como na quantitativa, o objetivo final é avaliar a **Eficiência Mecânica**. Um movimento coordenado é aquele que:

- Minimiza o gasto energético.
- Maximiza a produção de força/velocidade.
- Previne lesões ao distribuir as cargas de forma equilibrada pelos segmentos.

A **análise qualitativa** é a ferramenta do dia-a-dia para corrigir a coordenação geral, enquanto a **análise quantitativa** é essencial na alta competição para ajustes finos que o olho humano não consegue detetar.

**Curiosidade**

O artigo "**Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities**", publicado na revista *Applied Sciences* (MDPI) em 2023, é uma revisão abrangente sobre o estado atual e o futuro das tecnologias vestíveis (wearables) no desporto.

Aqui está um resumo dos pontos principais:

## 1. Definição e Conceitos

O estudo define **Tecnologia Vestível (WT)** como dispositivos eletrónicos móveis (sensores, unidades de processamento e fontes de energia) que podem ser usados confortavelmente no corpo ou integrados no vestuário (smart textiles). O artigo enfatiza que estes dispositivos devem ser não invasivos, flexíveis e, em muitos casos, capazes de fornecer dados em tempo real.

## 2. Áreas de Aplicação no Desporto

O artigo detalha como os sensores são utilizados para monitorizar diferentes aspetos do desempenho:

- Monitorização Biométrica e Fisiológica:** Medição de carga interna (frequência cardíaca, níveis de oxigénio, temperatura corporal).
- Análise de Movimento:** Uso de acelerómetros e giroscópios para analisar a biomecânica de gestos desportivos (como o balanço/swing no golfe ou ténis).
- Prevenção de Lesões:** Identificação de padrões de fadiga e sobrecarga antes que ocorra uma lesão clínica.
- Reabilitação:** Monitorização do progresso de atletas em recuperação através de dados objetivos de movimento e carga.

### 3. Oportunidades: IA e Coaching Remoto

Uma das secções mais relevantes aborda a integração com a **Inteligência Artificial (IA)**:

- ❑ A IA permite analisar volumes massivos de dados para identificar tendências e anomalias que um treinador humano poderia perder.
- ❑ Aparecimento do **Coaching Remoto**, onde atletas podem ser monitorizados e orientados à distância com base em dados precisos, eliminando barreiras geográficas.

### 4. Desafios e Questões Éticas

Apesar dos benefícios, o estudo aponta obstáculos significativos:

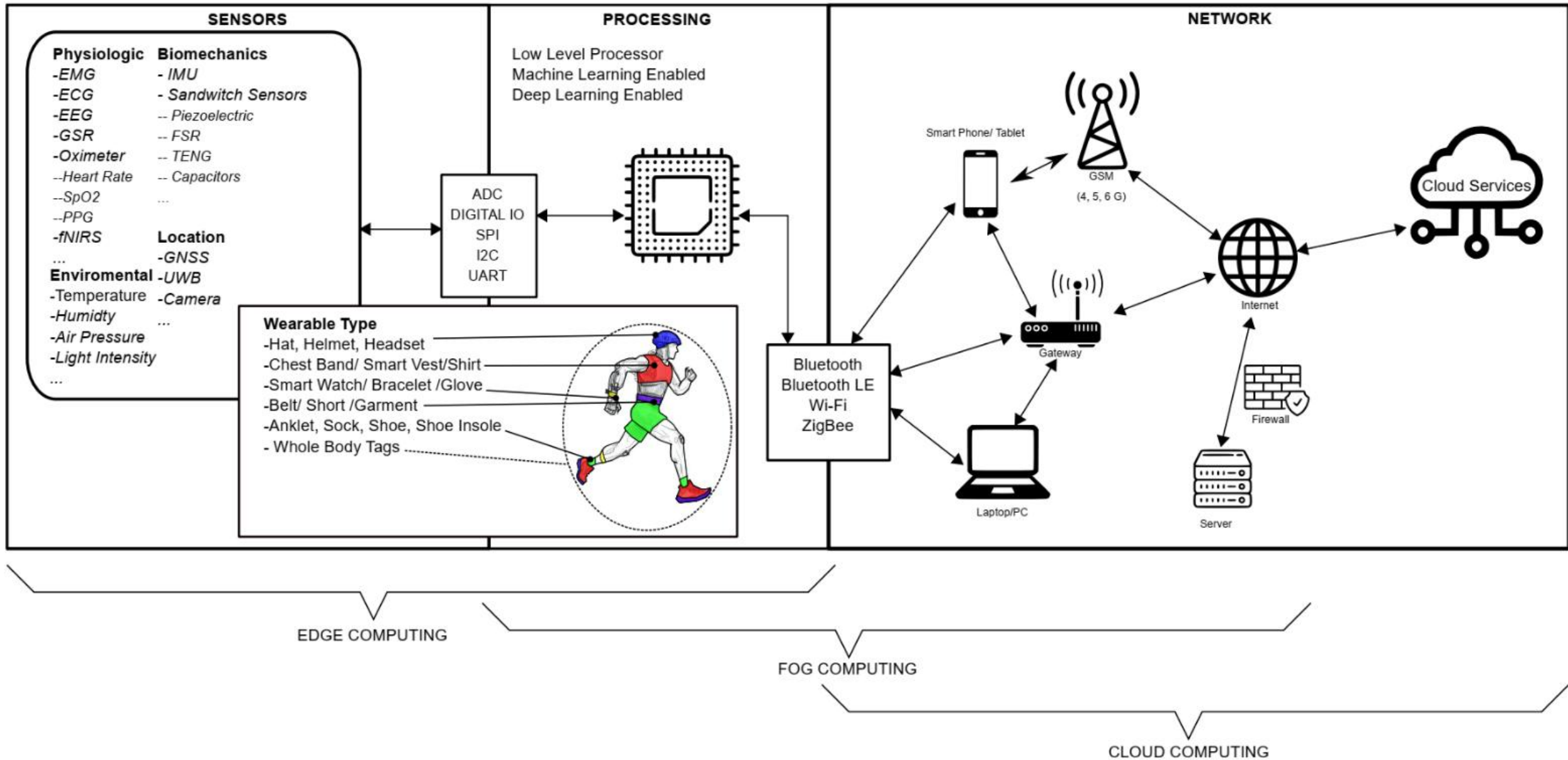
- ❑ **Privacidade e Segurança:** Quem é o dono dos dados biométricos do atleta? Como garantir que as informações não sejam usadas indevidamente por terceiros ou em negociações contratuais?
- ❑ **Equidade:** O acesso desigual a tecnologias de ponta pode criar uma disparidade injusta entre atletas/equipas com diferentes recursos financeiros.
- ❑ **Conforto e Design:** A necessidade de dispositivos que não interfiram na liberdade de movimento natural do atleta.

## 5. Conclusão e Futuro

O artigo conclui que as tecnologias vestíveis estão a transformar o desporto numa disciplina orientada por dados (*data-driven*). O futuro aponta para o desenvolvimento de **dispositivos de imagem vestíveis** (para monitorização interna profunda) e sistemas de IA cada vez mais personalizados, embora sublinhe que o papel do treinador humano continua a ser essencial para o apoio emocional e estratégico.

**Nota bibliográfica (APA):** Seçkin, A. Ç., Arslan, B., & Seçkin, M. (2023). Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities. *Applied Sciences*, 13(18), 10399. <https://doi.org/10.3390/app131810399>





A velocidade dos jogadores é medida principalmente através de duas tecnologias distintas, dependendo de quem está a recolher a informação (o clube ou as ligas/transmissões de TV).

Aqui estão as formas como esses dados são obtidos:

## 1. Dispositivos GPS (Tecnologia Wearable)

É o método mais comum utilizado pelos clubes durante treinos e jogos. Os jogadores usam um pequeno dispositivo inserido num colete (semelhante a um "top") por baixo da camisola.

- ❑ **Como funciona:** O dispositivo utiliza sensores **GNSS** (como o GPS) e **IMU** (unidades de medição inercial que incluem acelerómetros e giroscópios).
- ❑ **O que medem:** Além da **velocidade máxima (top speed)**, medem a aceleração, a desaceleração e o número de *sprints* de alta intensidade.
- ❑ **Marcas populares:** Catapult, STATSports e WIMU.

## 2. Rastreo Óptico (Câmaras de Estádio)

É a tecnologia que alimenta as estatísticas que vemos na televisão e nos sites das ligas (como a Premier League ou a Liga Portugal).

- ❑ **Como funciona:** Várias câmaras de alta resolução instaladas no estádio seguem todos os jogadores (e a bola) 25 a 50 vezes por segundo.
- ❑ **Vantagem:** Não exige que o jogador use qualquer hardware. O software de Inteligência Artificial processa as coordenadas x e y de cada jogador em tempo real para calcular a velocidade instantânea através da variação da posição no tempo ( $v = \Delta s / \Delta t$ ).
- ❑ **Provedores:** Second Spectrum, ChyronHego (TRACAB) e SkillCorner.

De acordo com o artigo do *The Football Analyst*, um mapa de calor (heatmap) é uma ferramenta visual que utiliza gradientes de cor para mostrar a frequência de ações ou a presença de um jogador em diferentes áreas do campo. Aqui está o que eles nos dizem especificamente sobre o jogador e sobre o jogo:

## 1. Sobre o Jogador

- ❑ **Zonas de Atividade e Preferência:** Revela onde o jogador passa a maior parte do tempo ou onde toca mais na bola. Isso ajuda a identificar se um jogador prefere atuar mais aberto pelas alas ou em zonas centrais.
- ❑ **Função Tática:** Permite inferir o papel do jogador. Por exemplo, um lateral que apresenta manchas de calor no meio do campo pode estar a atuar como um "lateral invertido", enquanto um avançado com calor na lateral pode estar a procurar espaços para cruzar ou abrir caminho para colegas.
- ❑ **Raio de Ação (Work Rate):** Dependendo do tipo de mapa (baseado em GPS), mostra a capacidade física e a disciplina posicional, indicando se o jogador cobre muito terreno ou se mantém rigorosamente a sua posição.

## 2. Sobre o Jogo de Futebol

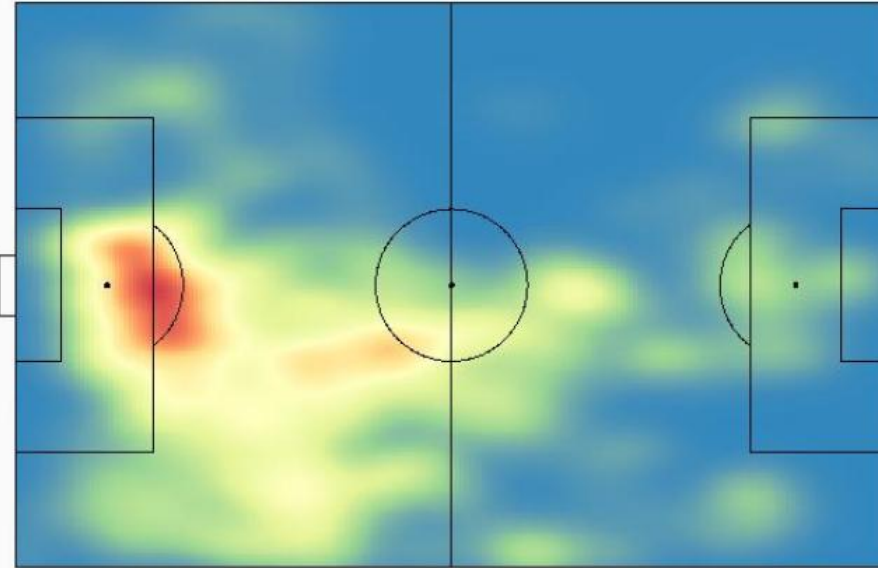
- ❑ **Estrutura e Sistema da Equipa:** Ao observar os mapas coletivos, percebe-se a altura do bloco defensivo (baixo, médio ou alto) e as zonas de pressão da equipa.
- ❑ **Padrões de Construção:** Mostra se uma equipa privilegia um dos lados para atacar (overloads) ou se foca o seu jogo pelo centro.
- ❑ **Dinâmica da Partida:** Ajuda a entender como o jogo fluiu. Se o mapa de calor de uma equipa está muito concentrado na sua própria área, isso indica que sofreu muita pressão e jogou em contra-ataque.

O que os Mapas de Calor NÃO dizem (Limitações Importantes):

- ❑ O artigo destaca que é um erro olhar apenas para as cores (a falácia do "Vermelho = Bom"). Os mapas têm limites:
- ❑ **Qualidade das Ações:** O mapa mostra onde o jogador esteve, mas não diz se os passes foram bons, se criou perigo ou se apenas passou a bola para o lado.
- ❑ **Tomada de Decisão:** Não revela a inteligência do jogador ou se ele se movimentou no momento certo.
- ❑ **Movimento sem Bola:** A maioria dos mapas comuns baseia-se apenas em toques na bola, ignorando corridas de distração ou posicionamento defensivo que não envolva contacto direto com o esférico.

### 1st half - without interpolation

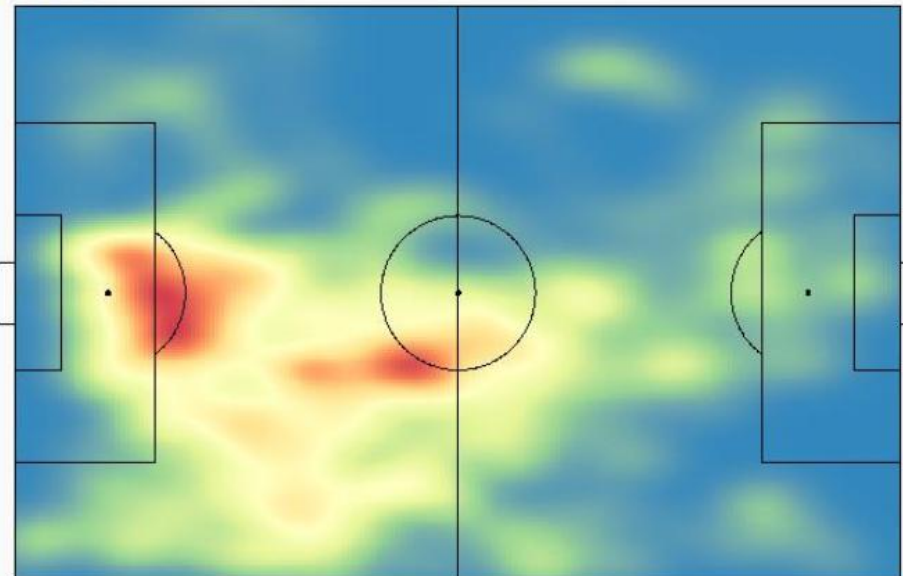
Ronaldo



Um exemplo representativo pode ser considerado para casos como os mapas de calor dos jogadores, mostrando a aparência dos jogadores em diferentes partes do campo e ocasiões como os percursos dos jogadores durante um determinado período de tempo (Figura 5). Do lado esquerdo, pode ver-se o mapa de calor de Ronaldo (Juventus) com base nos dados disponíveis (acima) e o mesmo para quando os dados em falta foram imputados (interpolados).

### 1st half - with interpolation

Ronaldo

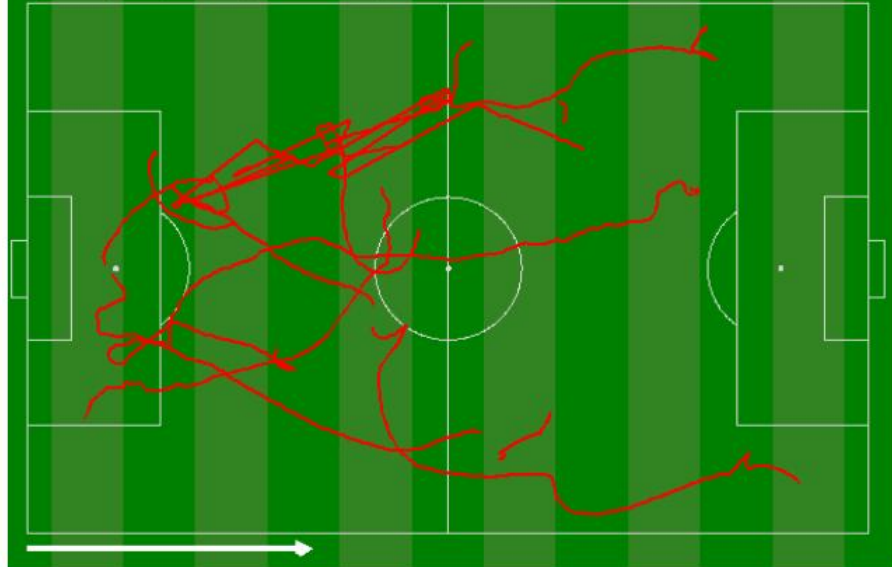


Mapas de calor de futebol que mostram a eficácia de um jogador em diferentes partes do campo e a sua trajetória durante um determinado período de tempo.

Christos Kontos and Dimitris Karlis. *Football analytics based on player tracking data using interpolation techniques for the prediction of missing coordinates*. Statistica Applicata - Italian Journal of Applied Statistics Vol. 35 (2)

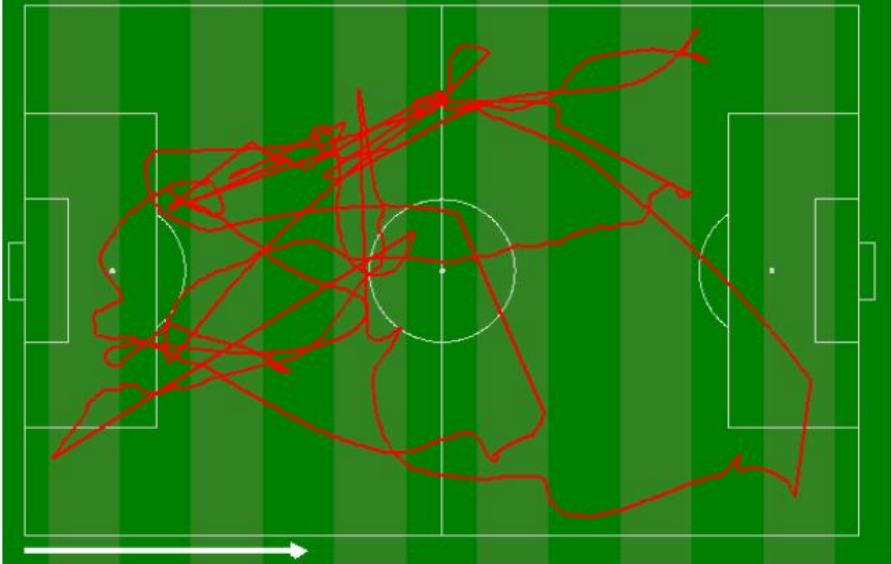
### 1st half

Dybala path (30" - 1') with missing coordinates



### 1st half

Dybala path (30" - 1') with the interpolated coordinates



# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

Aplicar os conhecimentos na **análise dos movimentos** (observação de tarefas motoras diversas) por forma a corrigir ou eliminar os erros, pesquisando sobre estratégias para otimizar a performance.

Para se aplicar estes conhecimentos na prática e transformar a observação em **correção técnica**, é preciso um método estruturado. A análise qualitativa não é apenas "olhar", é saber o que procurar.

Guia estratégico para otimizar a performance, baseado na eliminação de erros e na biomecânica:

### Exemplo Prático de Correção: O PONTAPÉ

- ❑ **Erro observado:** O pontapé sai fraco e sem direção.
- ❑ **Análise Biomecânica:** O pé de apoio está demasiado à frente (perda de equilíbrio) ou a perna de remate não descreve o arco completo (falta de momento de força).
- ❑ **Estratégia de Otimização:** Treinar a colocação do pé de apoio ao lado da bola e a rotação da bacia para aumentar o raio do movimento, aumentando assim a velocidade linear do pé no contacto.

A **otimização da performance** não se consegue apenas com mais força, mas sim com eficiência mecânica. Eliminar erros significa reduzir o desperdício de energia e garantir que todas as forças aplicadas contribuem para o objetivo do movimento.

## O Ciclo de Intervenção Técnica

Para corrigir um erro, deve-se seguir estas quatro etapas:

1. **Observação Sistemática:** Não olhes para o corpo todo ao mesmo tempo. Foca-te primeiro no **Centro de Gravidade (tronco)** e depois nas extremidades. Observa de vários ângulos (frente, lado e cima).
2. **Identificação do Erro Crítico:** Distingue o "erro sintoma" do "erro causa".
  - ❑ *Exemplo:* Um saltador que cai cedo demais (sintoma) pode estar a fazer uma impulsão com o pé demasiado próximo do CG (causa).
3. **Avaliação da Estabilidade e Coordenação:** Verifica se o atleta está a perder o equilíbrio onde deveria estar estável ou se falta sincronização entre os segmentos (ação dos segmentos livres).
4. **Intervenção (Estratégias de Correção):** Aplica exercícios específicos para isolar o erro.

## 2. Estratégias para Otimizar a Performance

Dependendo do tipo de movimento, as estratégias de otimização variam:

### A. Movimentos de Propulsão (Saltos, Lançamentos, Chutos)

- Otimização:** Maximizar a **cadeia cinética**. A força deve ser gerada nos grandes grupos musculares (pernas) e transferida progressivamente para os segmentos mais leves e rápidos.
- Correção de Erro:** Se a velocidade final é baixa, verifica se não há uma "fuga de energia" (ex: uma articulação que não bloqueia no momento certo).

### B. Movimentos de Precisão e Equilíbrio (Ginástica, Tiro, Judo)

- Otimização:** Minimizar as oscilações do **Centro de Gravidade**. No equilíbrio estável, a estratégia é aumentar a base e baixar o CG. No equilíbrio dinâmico, é manter a linha de gravidade no centro da base.
- Correção de Erro:** Se o atleta cai, verifica se a linha de gravidade saiu da base de suporte antes do tempo previsto.

Ferramenta	Como ajuda a corrigir	Exemplo de Aplicação
<b>Video-Análise (Frame-to-Frame)</b>	Deteta erros de timing impercetíveis à velocidade real.	Sincronização da perna livre no Salto em Altura.
<b>Modelos Técnicos (Checklists)</b>	Compara o atleta com a técnica ideal descrita por autores como Hay & Reid.	Verificação da postura nos blocos de partida (equilíbrio instável).
<b>Feedback Biofeedback</b>	Dá ao atleta informação sonora ou visual imediata sobre a sua força ou posição.	Plataformas de força para equilibrar a impulsão entre os dois pés.

# Fundamentos de Mecânica para análise do Movimento

## 4. OBSERVAÇÃO

## Nível Introdução

Jogo anárquico no qual  
prevalece uma atração pela bola  
por parte de todos os alunos

## Nível Intermédio

Enquadramento com a baliza e  
que passa corre para a baliza  
com o objetivo de receber a bola  
mais à frente. Recupera  
defensivamente e marca  
individualmente.

## Nível Avançado

Jogo organizado. Adequa as  
ações à fase ofensiva e defensiva.  
Aplica princípios específicos.

Percurso de amadurecimento do processo de domínio técnico e de leitura táctica.



# (EDUCAÇÃO FÍSICA)

Avaliação  
Diagnóstica

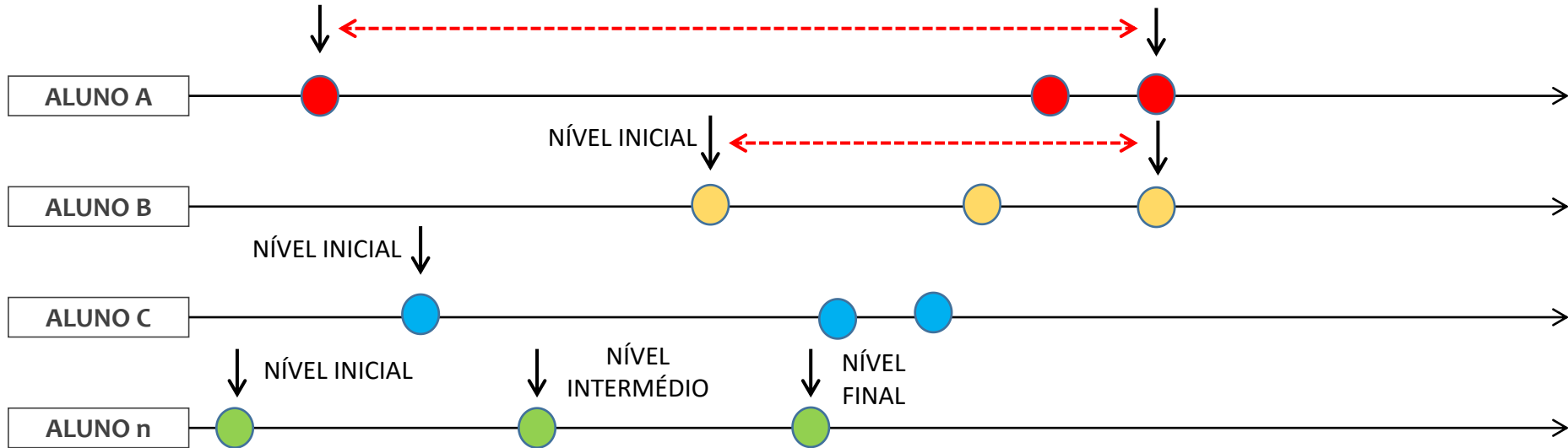
Avaliação  
Formativa

Avaliação  
Sumativa

NÍVEL INICIAL DE  
DOMÍNIO TÉCNICO

NÍVEL INTERMÉDIO DE  
DOMÍNIO TÉCNICO

NÍVEL FINAL DE  
DOMÍNIO TÉCNICO



NÍVEL INICIAL ←-----→ NÍVEL FINAL

Aluno A

NÍVEL INICIAL ←-----→ NÍVEL FINAL

Aluno B

## Análise Qualitativa do Gesto Técnico

### Habilidade Motora

Série de movimentos voluntários do corpo humano designados para atingir um determinado objetivo

### Execução

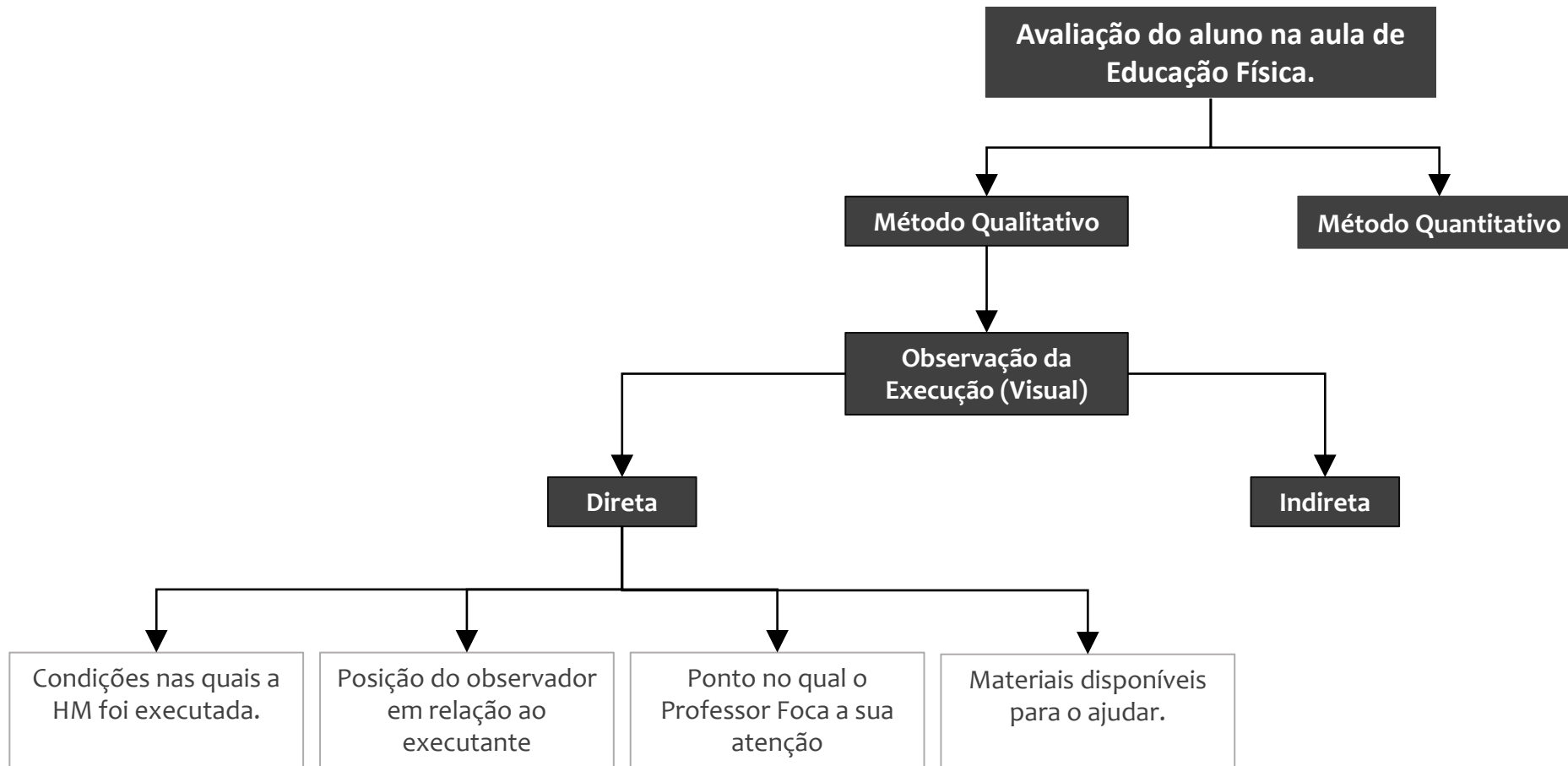
Maneira pela qual todos os movimentos contendo uma habilidade motora são executados.

### Resultado

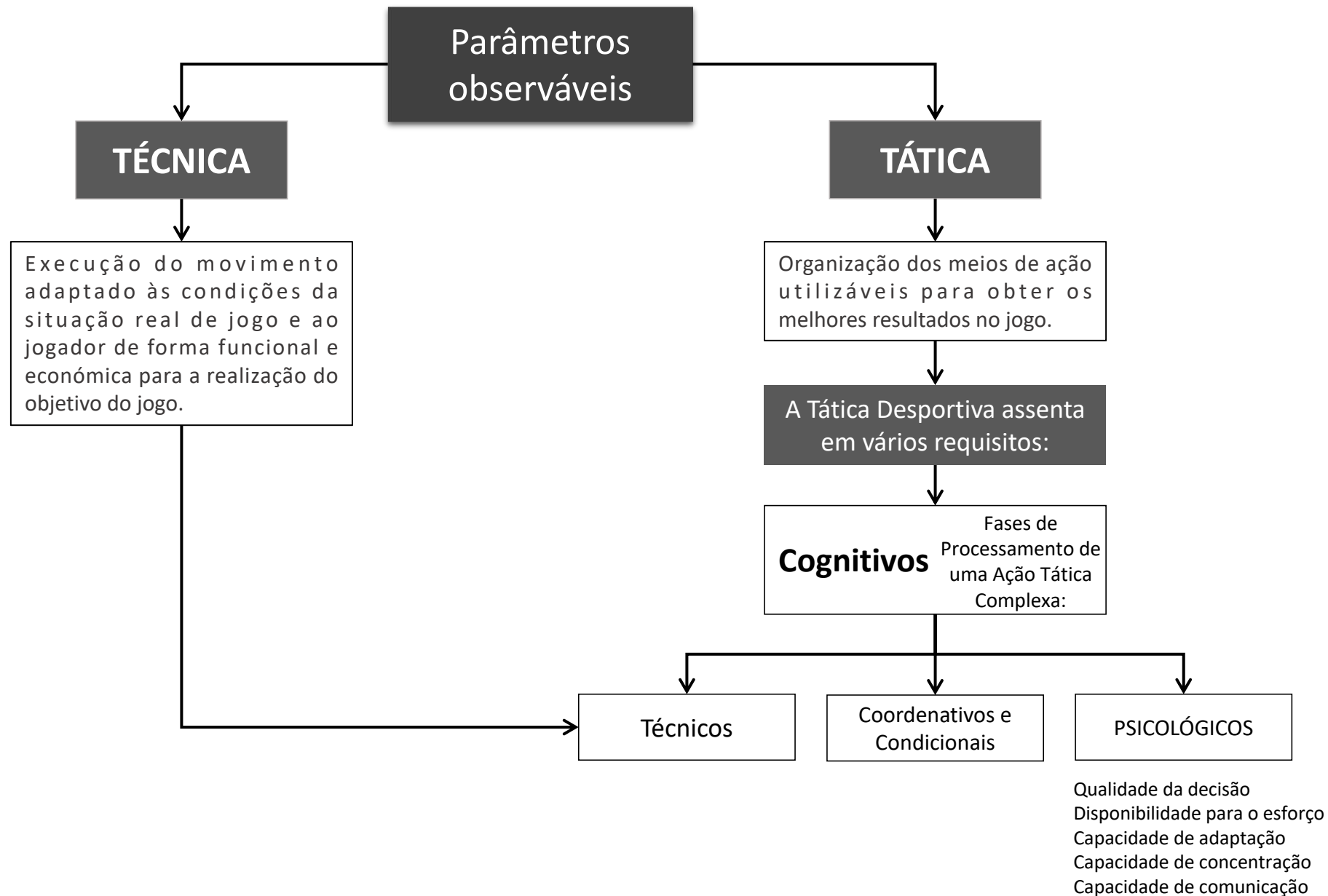
É a medida dos efeitos de uma execução

É o tempo, altura ou distância obtidos no atletismo, o número de pontos conseguidos num elemento gímnico ou o sucesso (2 pontos) ou insucesso (0 pontos) no lançamento livre no basquetebol.

O resultado de uma habilidade motora usada em jogo, na dança ou várias outras atividades pode ser menos óbvio.



*Como as habilidades motoras são quase sempre complexas, as análises qualitativas de habilidades motoras também são similarmente complexas.*



## Parâmetros observáveis

### EXERCÍCIO CRITÉRIO

#### Avaliação da Execução Técnica

Ex (Andebol): em situação de exercício critério realiza com oportunidade e correção as ações técnicas:

- Passe-recepção em corrida.
- Drible-remate em salto.

#### **Componentes Críticas** do passe de ombro:

- pegar a bola com os dedos bem afastados, com esta acima da cabeça.
- colocar o pé contrário à mão que tem a bola ligeiramente à frente do outro.
- rotação do tronco para o lado do membro superior executor.
- enviar a bola com um movimento do membro superior, de trás para a frente.
- transferir o peso do corpo do membro inferior mais recuado para o mais avançado.

### SITUAÇÃO DE JOGO

#### Avaliação da Execução Técnica em Situação de Jogo.

Ex (Andebol): em situação de jogo realiza com oportunidade e correção as ações técnicas:

- Passe-recepção em corrida.
- Recepção-remate em salto.
- Deslocamentos defensivos.
- Fintas.

#### Avaliação da Leitura e Movimentações Táticas no Jogo

Ex. Andebol de 5: (4+1 \* 4+1) num campo reduzido de 25 m \* 143 m:

- Com a sua equipa de posse de bola, desmarca-se.
- Com boa pega de bola opta por passe ou drible em progressão para finalizar.
- Finaliza em remate em salto.

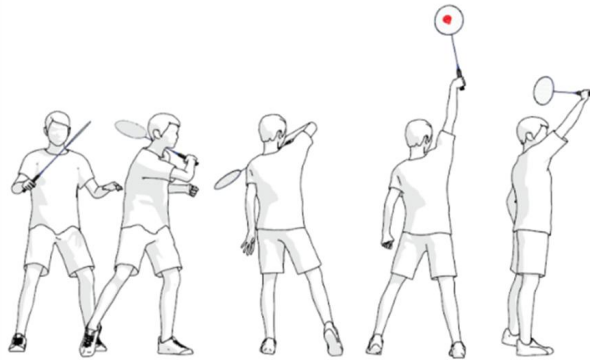
# Critérios de Seleção dos testes de Avaliação

## Educação Física



### A – ATIVIDADES FÍSICAS (Matérias Nucleares) O domínio motor:

- **Situação de Exercício Critério:** correção e rigor na execução de gestos técnicos que denotam uma boa capacidade em reproduzir determinados padrões de movimento garantindo eficiência e eficácia. Cotação atribuída (quantificação) ao rigor da prestação do aluno no cumprimento das **componentes críticas** do gesto técnico que garante uma melhor aproximação do modelo técnico padrão.



Ex: Clear de Esquerda:

### COMPONENTES CRÍTICAS:

1. Deslocamento do corpo para a esquerda, com a raquete acima do ombro esquerdo.
2. Deslocação do membro inferior esquerdo e cruzamento do membro inferior direito pela frente do primeiro.
3. No momento do impacto, extensão completa do membro superior que realiza o batimento.

Regras básicas para uma observação eficaz e estruturada:

### 1. Conhecimento Prévio (Domínio do Modelo)

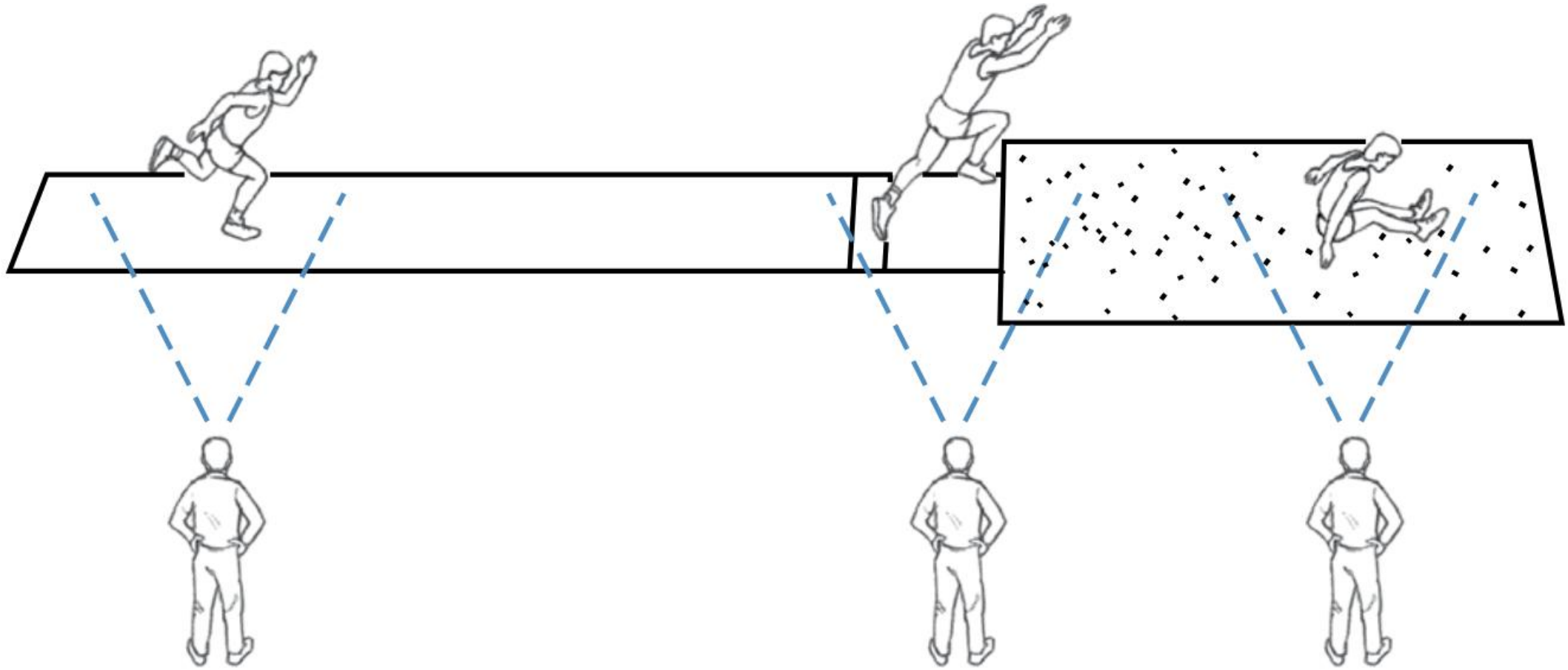
Para observar bem, o observador deve dominar o conhecimento da habilidade motora. Isso inclui:

- O Objetivo:** O que o executante tenta alcançar? (Ex: saltar o mais longe possível).
- As Restrições:** Quais são as regras que limitam o movimento?
- Componentes Críticas:** Quais são os elementos fundamentais que caracterizam uma execução correta (o "modelo técnico").

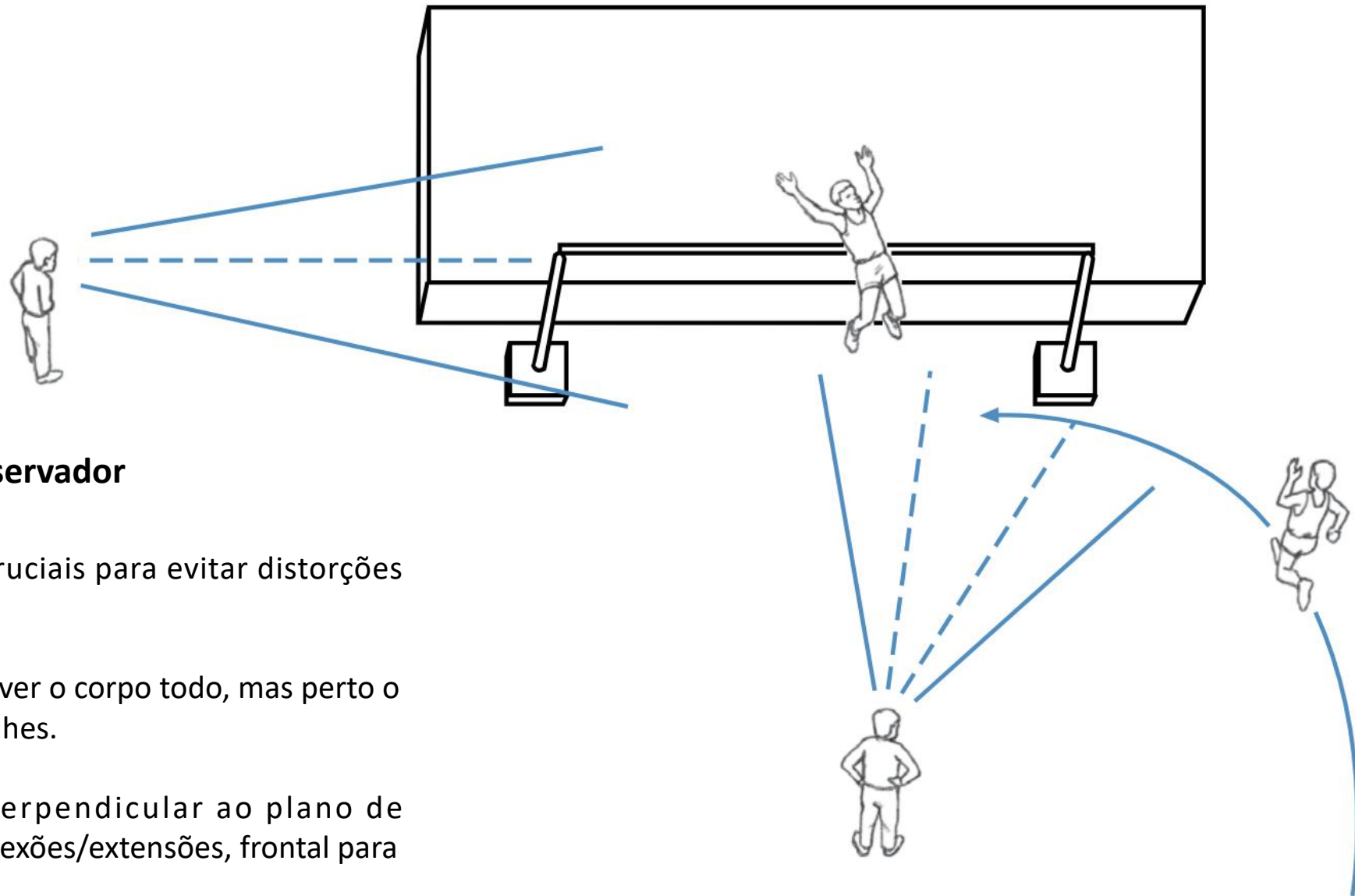
### 2. Planeamento da Observação

Não se deve observar tudo ao mesmo tempo. É necessário definir:

- Quem observar:** O foco deve estar no aluno/atleta em análise.
- Onde observar:** Escolher o ângulo que melhor permite ver as componentes críticas.
  - a) Exemplo:* Para ver a extensão do joelho, a vista lateral é melhor; para ver o alinhamento dos pés, a vista frontal ou posterior é preferível.
- O que observar:** Focar em fases específicas (preparação, execução ou recuperação).



Três posições de visualização diferentes para observar a corrida de aproximação, a descolagem e a aterragem do salto em comprimento.

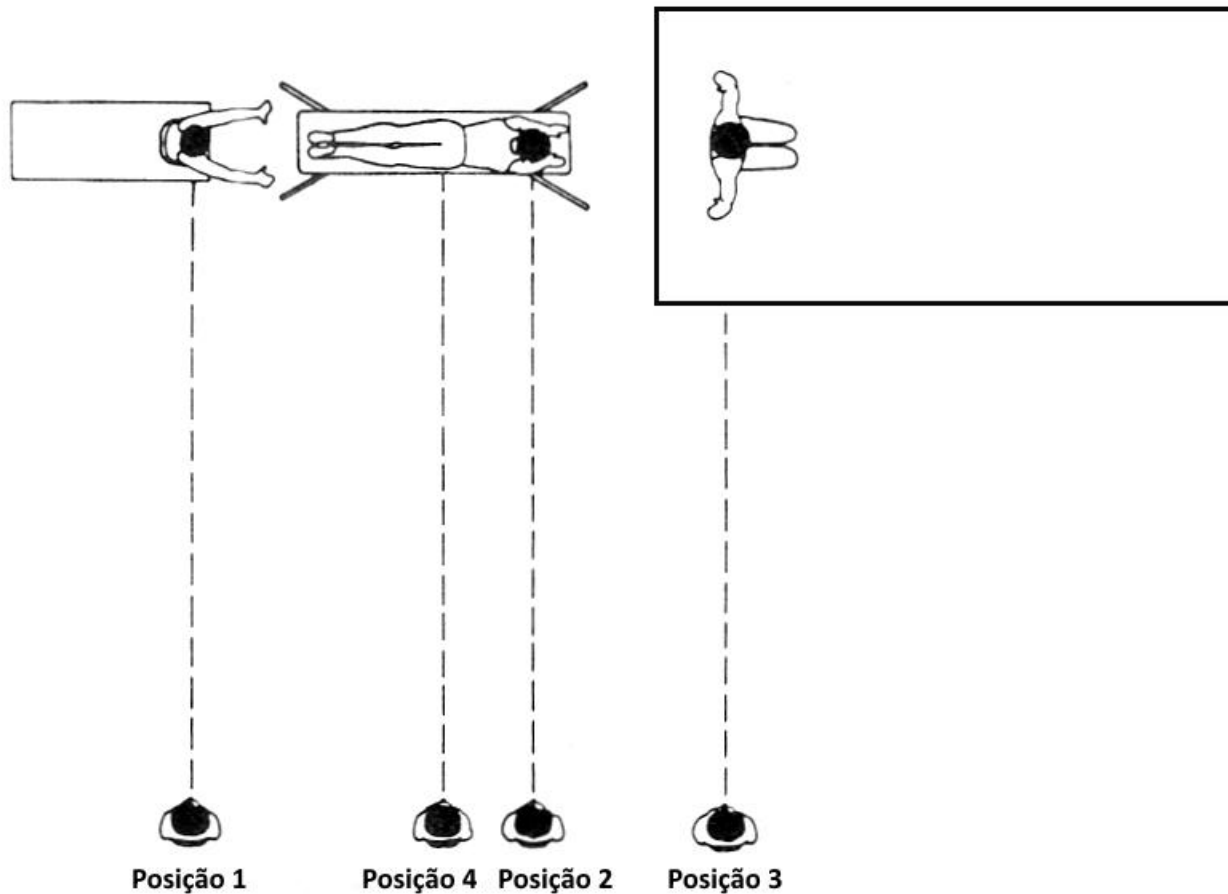


### 3. Posicionamento do Observador

A distância e o ângulo são cruciais para evitar distorções ópticas:

- ❑ **Distância:** Suficiente para ver o corpo todo, mas perto o suficiente para notar detalhes.
- ❑ **Ângulo:** Geralmente perpendicular ao plano de movimento (sagital para flexões/extensões, frontal para abduções).

Duas posições de visualização diferentes para observar a aproximação, a descolagem e a passagem pela barra no salto em altura.



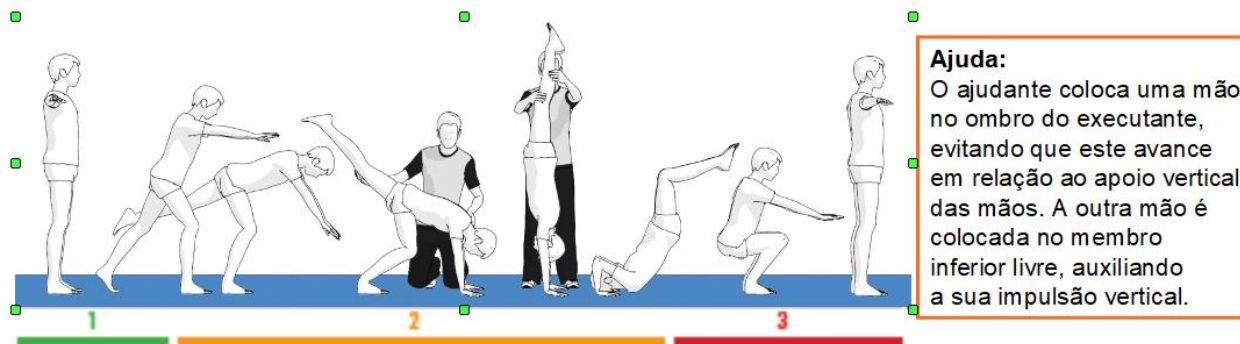
#### 4. Utilização de Instrumentos de Validação

O documento menciona que a observação deve ser validada por instrumentos ou normas:

- Análise Qualitativa:** O professor observa para oferecer sugestões de correção ou quantificar a evolução.
- Referenciais Antropométricos:** Usar normas para entender se desvios na execução se devem a características físicas do aluno ou a erros técnicos.

#### 5. Repetição e Consistência

- Uma única observação pode ser enganosa. É necessário observar várias repetições para identificar se um erro é **sistemático** (acontece sempre) ou **aleatório** (foi apenas um desequilíbrio momentâneo).



1.º

Inclinação do tronco à frente através de um desequilíbrio.

2.º

- Mãos colocadas no solo à largura dos ombros, com os dedos afastados e virados para a frente.
- Manutenção dos membros superiores em extensão completa e tonicidade completa do corpo.

3.º

Desequilíbrio do corpo e flexão controlada dos membros superiores na fase de enrolamento.

Fonte da imagem: EXERCÍCIO CRITÉRIO – Apoio Facial Invertido com rolamento à frente engrupado: componentes críticas correspondentes ao Padrão Motor (padronização)

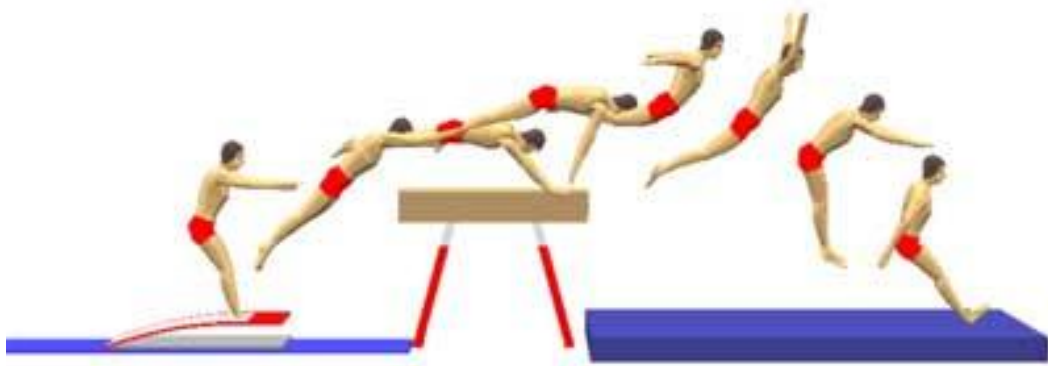
## Os estudos dos elementos a serem avaliados devem ser:

- Decompostos nas suas componentes básicas.
- Decompostos nas suas componentes críticas.

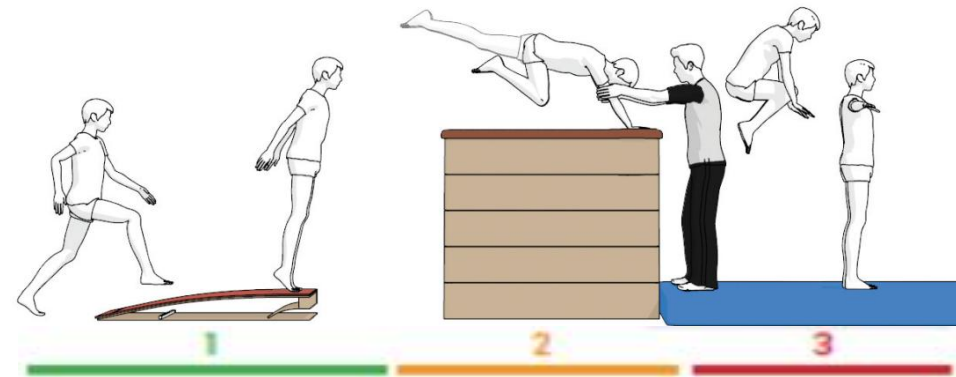
Reduzidos a um número mínimo indispensável em função da análise da tarefa, do nível de prática dos indivíduos e dos objetivos (apenas se deve incluir o estritamente necessário por questões de operacionalidade, de gestão de tempo e de questões técnico-avaliativas, de forma que não se perca concentração sobre as componentes mais importantes).

**Salto entre mãos  
Plinto longitudinal**

**Modelo Desportivo**



**Reprodução na aula de EF**



Plinto longitudinal

## Aspetos Comuns e diferenciadores dos Jogos Desportivos Coletivos

```
graph TD; A[Aspetos Comuns e diferenciadores dos Jogos Desportivos Coletivos] --> B[ASPETOS COMUNS]; A --> C[ASPETOS ESPECÍFICOS]; B --> D["a) Bola (pela qual lutam as equipas (alunos).  
b) Espaço de Jogo (onde se desenvolve o confronto)  
c) Alvo (a atacar e a defender)  
d) Regras (a respeitar)  
e) Colegas (com quem cooperar)  
f) Adversários (oposição a vencer)"]; C --> E["a) Regras dos Jogos (Específicas)  
b) Duração do jogo (tempo)  
c) Dimensões do terreno de jogo (campo)  
d) Técnicas e táticas específicas  
e) Disputa complexa específica (individual e coletiva)"];
```

### ASPETOS COMUNS

- a) Bola (pela qual lutam as equipas (alunos).
- b) Espaço de Jogo (onde se desenvolve o confronto)
- c) Alvo (a atacar e a defender)
- d) Regras (a respeitar)
- e) Colegas (com quem cooperar)
- f) Adversários (oposição a vencer)

### ASPETOS ESPECÍFICOS

- a) Regras dos Jogos (Específicas)
- b) Duração do jogo (tempo)
- c) Dimensões do terreno de jogo (campo)
- d) Técnicas e táticas específicas
- e) Disputa complexa específica (individual e coletiva)

# Jogos Desportivos Coletivos

FAZEM APELO À:

**COOPERAÇÃO**

**NOÇÃO DE EQUIPA**  
Cooperação entre os  
elemento da equipa  
Para alcançar os seus  
objetivos)

**OPOSIÇÃO**

**FACÇÃO**  
Competição é um  
processo onde os  
objetivos são  
mutuamente  
exclusivos e as ações  
são benéficas  
somente para alguns.

**INTELIGÊNCIA**

**NOÇÃO DE  
ADAPTABILIDADE**  
(Capacidade de  
adaptação  
a novas situações)

ATRAVÉS DO/DA

Espírito de **colaboração** e  
de **entreaajuda**

Subordinação dos  
interesses pessoais aos  
interesses da equipa

Resposta adequada a  
situações diversificadas  
que ocorrem no jogo

Recurso à desinformação  
para induzir o adversário  
em erro (ex: finta,  
simulação, bloqueio,  
cortinas...)

# Jogos Cooperativos

FAZEM APELO À:

**COOPERAÇÃO**

**NOÇÃO DE EQUIPA**  
Cooperação entre os  
elemento da equipa  
Para alcançar os seus  
objetivos)

**INTEGRAÇÃO**

**UNIDADE**  
Não existem fações e  
todos participam em  
função de um  
objetivo comum.

**INTELIGÊNCIA**

**NOÇÃO DE  
ADAPTABILIDADE**  
(Capacidade de  
adaptação  
a novas situações)

ATRAVÉS DO/DA

Espírito de **colaboração** e  
de **entreaajuda**

Equilíbrio entre os  
interesses pessoais e os  
interesses da equipa.

Resposta adequada a  
situações diversificadas  
que ocorrem no jogo

Recurso à informação  
como forma de articular os  
esforços comuns em  
função do desafio.

Quantos professores de EF utilizam os **Nomogramas** como instrumento de avaliação dos Jogos desportivos coletivos?

O **nomograma** de avaliação dos jogos desportivos coletivos recorre a **índices numéricos** que permitem situar os(s) aluno(s) em determinado nível de jogo, utilizando para o efeito, dois referenciais (**índice de eficácia** e **volume de jogo**), que permitem valorizar os aspetos quantitativo e qualitativo. Um grupo de alunos coloca-se em situação de jogo (de avaliação) e os restantes em situação de observação. Cada aluno é responsável pela observação e registo de um aluno específico. Este processo para além de permitir a observação simultânea de todos os alunos, é uma forma de cumprir os atuais objetivos da disciplina de EF. Os alunos, ao observarem os colegas, começam a compreender e a analisar melhor o que se passa numa situação de jogo, passam a identificar mais corretamente as diferentes ações e opções associadas ao êxito ou insucesso das mesmas.

Ex: Basquetebol - Critérios:

- BJ (Bola Jogada) – número total de bolas jogadas pelo jogador, independentemente da sua sorte.
- BA (Bola de ataque) – é um passe decisivo feito para um colega colocado numa posição ofensiva que origina um lançamento e concretização do cesto, ou a recuperação de uma bola lançada não concretizada.
- BC (Bola Conquistada) – todas as bolas que vêm do adversário e são recuperadas.
- BP (Bola Perdida) – Todas as bolas que se perdem no ataque, ou na defesa, ou num lançamento ao cesto não recuperado.

Ação Aluno	BC	BR	BJ	BP	BR	BO	R
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
n							
	$BJ = \Sigma_{BC} + \Sigma_{BR}$			$BP$		$BA = \Sigma_{BO} + \Sigma_{R}$	

**Nota:** o quadro deve ser utilizado para registrar o número de bolas que correspondem aos parâmetros definidos na legenda

As Bolas Jogadas resultam do somatório das bolas conquistadas e bolas recebidas:  $BJ = BC + BR$

As Bolas de Ataque resultam do somatório das bolas ofensivas e remates:  $BA = BO + R$

- BC - Bola Conquistada
- BR - Bola Recebida
- BJ - Bola Jogada
- BP - Bola perdida
- BR - Bola Recebida
- BO - Bola Ofensiva
- R - Remate

O **nomograma** é um utensílio gráfico de avaliação que relaciona duas escalas relativas a uma grelha de referência.

O **nomograma** constrói-se com a ajuda de 3 segmentos:

- Sobre o primeiro marca-se o índice calculado pela fórmula  $BA + BC / BP$ , ou seja, o Índice de Eficácia.
- Sobre o terceiro marca-se o volume de jogo (BJ) = performance
- Por último une-se os dois resultados através de uma linha reta, obtendo-se a nota correspondente ao nível de jogo do aluno

Nomograma de  
Basquetebol

B3

Escala: 1 cm

