

BIOMECÂNICA

Cinemática linear

Carlos Bolli Mota

bollimota@gmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Laboratório de Biomecânica

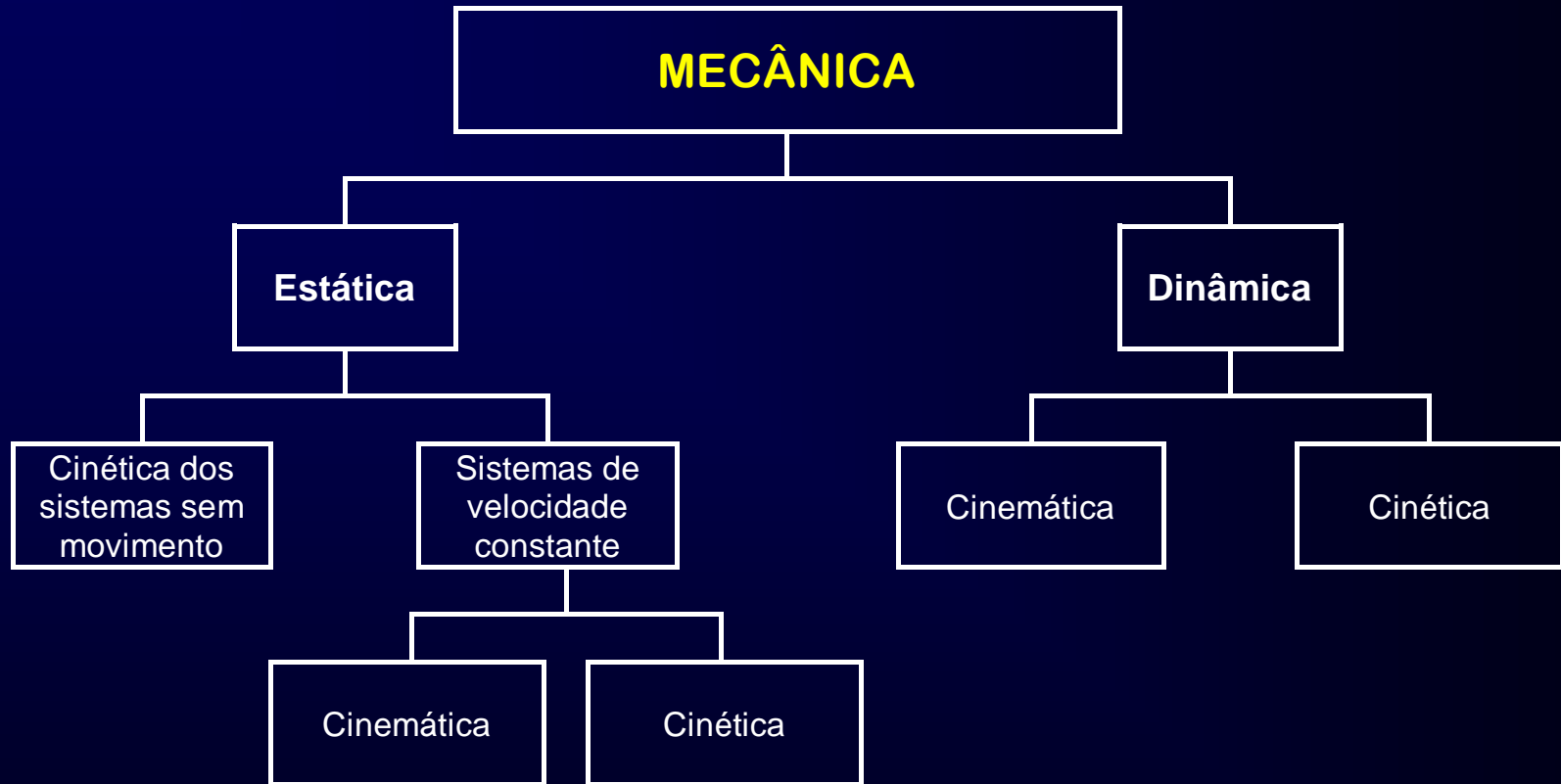
MECÂNICA



Ramo da física que envolve a análise das ações das forças, no estudo de aspectos anatômicos a funcionais dos organismos vivos.



Hall, 1993



as sub-áreas da mecânica

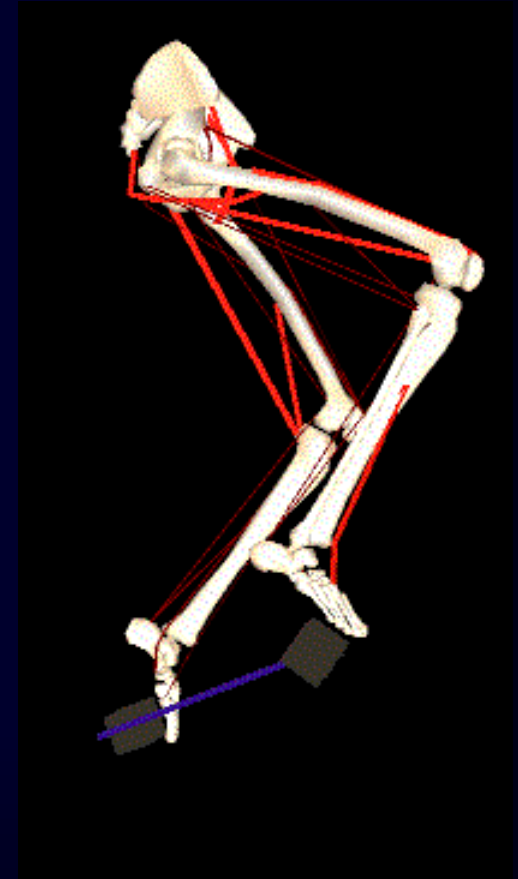
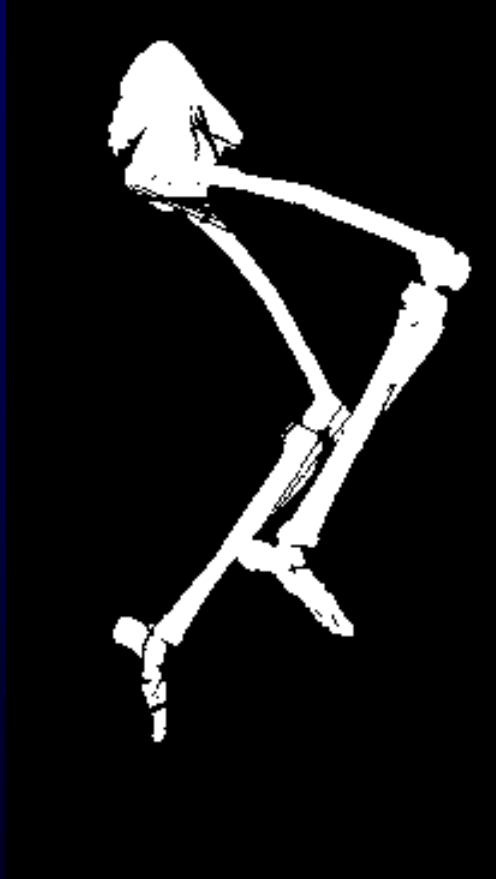


CINEMÁTICA

Descrição
espaço-temporal
dos movimentos

Movimento

Mudança na posição:
MOVER-SE
de um ponto para outro
em relação a um
REFERENCIAL



Movimento



Movimento

Necessidades para ocorrer movimento

- ESPAÇO
- TEMPO

ESPAÇO para mover-se e **TEMPO** durante o qual mover-se

Movimento

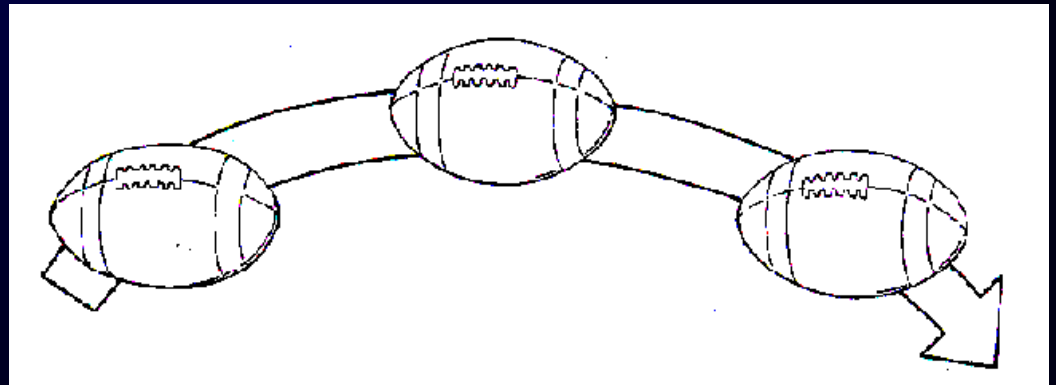
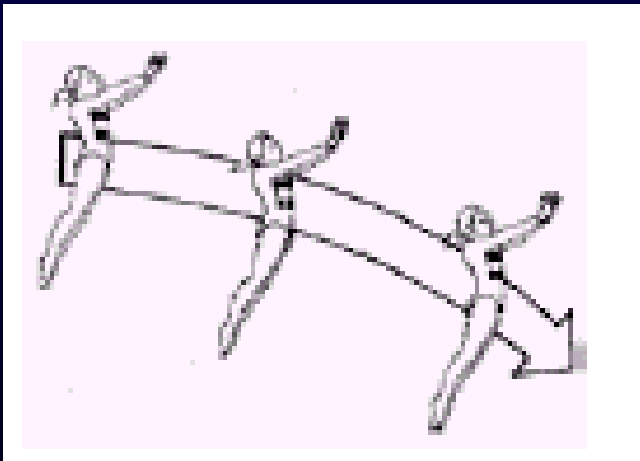
MOVIMENTO LINEAR

TRANSLAÇÃO

Todos os pontos do corpo movem-se a mesma distância ou direção, ao mesmo tempo

Movimento

MOVIMENTO LINEAR



Movimento

TRANSLAÇÃO RETILÍNEA

Todos os pontos movem-se em linhas retas paralelas

- direção não muda**
- orientação não muda**
- pontos do objeto percorrem a mesma distancia**

Movimento

TRANSLAÇÃO CURVILÍNEA

Todos os pontos movem-se em linhas curvas paralelas

- direção muda constantemente**
- orientação não muda**
- pontos do objeto percorrem a mesma distância**

Movimento

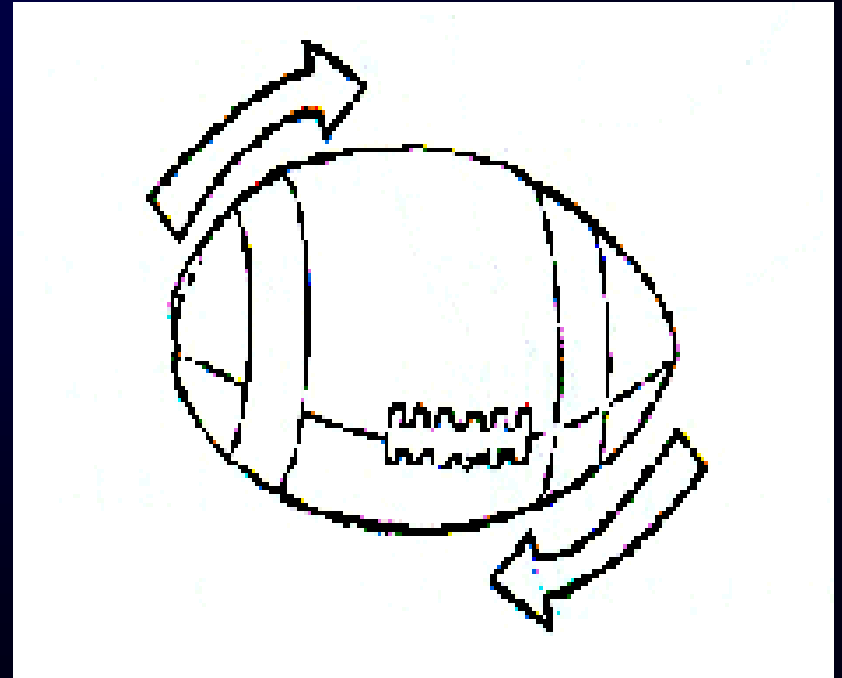
MOVIMENTO ANGULAR

ROTATÓRIO OU DE ROTAÇÃO

**Pontos movem-se em linhas circulares
em torno de um eixo**

Movimento

MOVIMENTO ANGULAR



Movimento

MOVIMENTO ANGULAR

- trajetórias circulares em torno de um eixo
- linha entre dois pontos muda continuamente de direção
- eixo de rotação não muda de posição

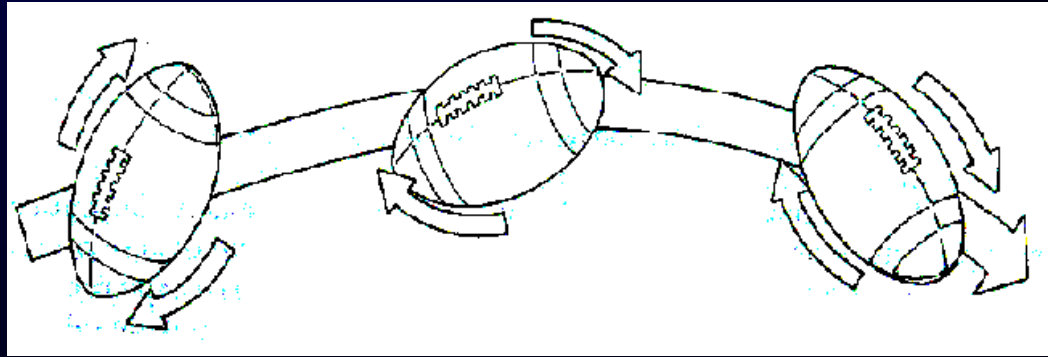
Movimento

MOVIMENTO GENERALIZADO

MOVIMENTO LINEAR

+

MOVIMENTO ANGULAR



CINEMÁTICA

CINEMÁTICA LINEAR

Ocupa-se com a descrição do movimento linear

CINEMÁTICA

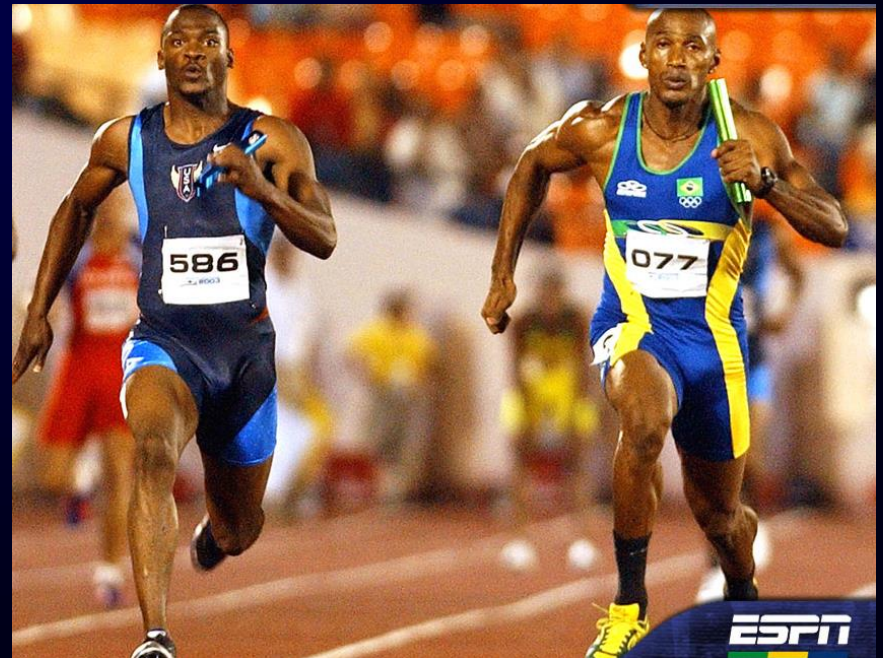
CINEMÁTICA LINEAR

POSIÇÃO - Localização no espaço

CINEMÁTICA

CINEMÁTICA LINEAR

UNIDIMENSIONAL



CINEMÁTICA

CINEMÁTICA LINEAR

BIDIMENSIONAL



CINEMÁTICA

CINEMÁTICA LINEAR

TRIDIMENSIONAL



CINEMÁTICA LINEAR

SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS

René Descartes (1596 – 1650)

**Filósofo matemático francês
que inventou a geometria
analítica**



CINEMÁTICA LINEAR

SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS

Para descrever a posição de algo no espaço, precisa-se identificar um ponto fixo de referência para servir como origem

Objetos em 1 dimensão → 1 eixo

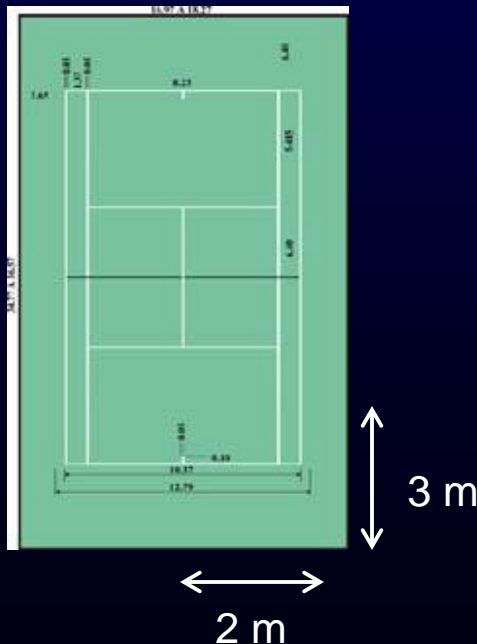
Objetos em 2 dimensões → 2 eixos

Objetos em 3 dimensões → 3 eixos

CINEMÁTICA LINEAR

SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS

ORIGEM - ponto de referência fixo para o sistema de coordenadas

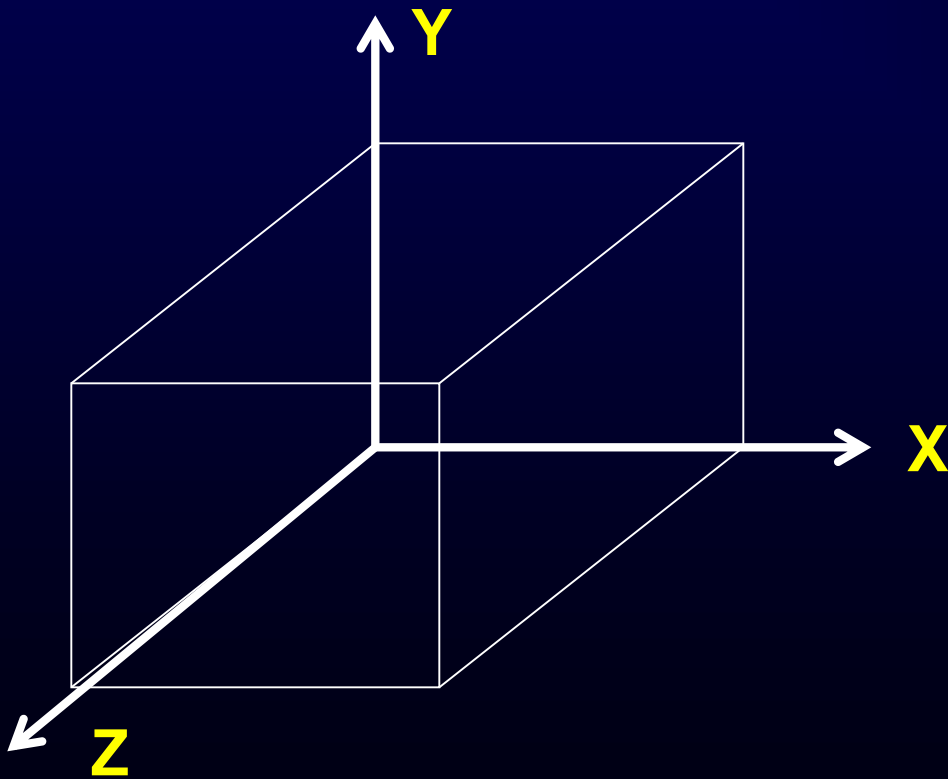


em x – 3m

em y – 2m

CINEMÁTICA LINEAR

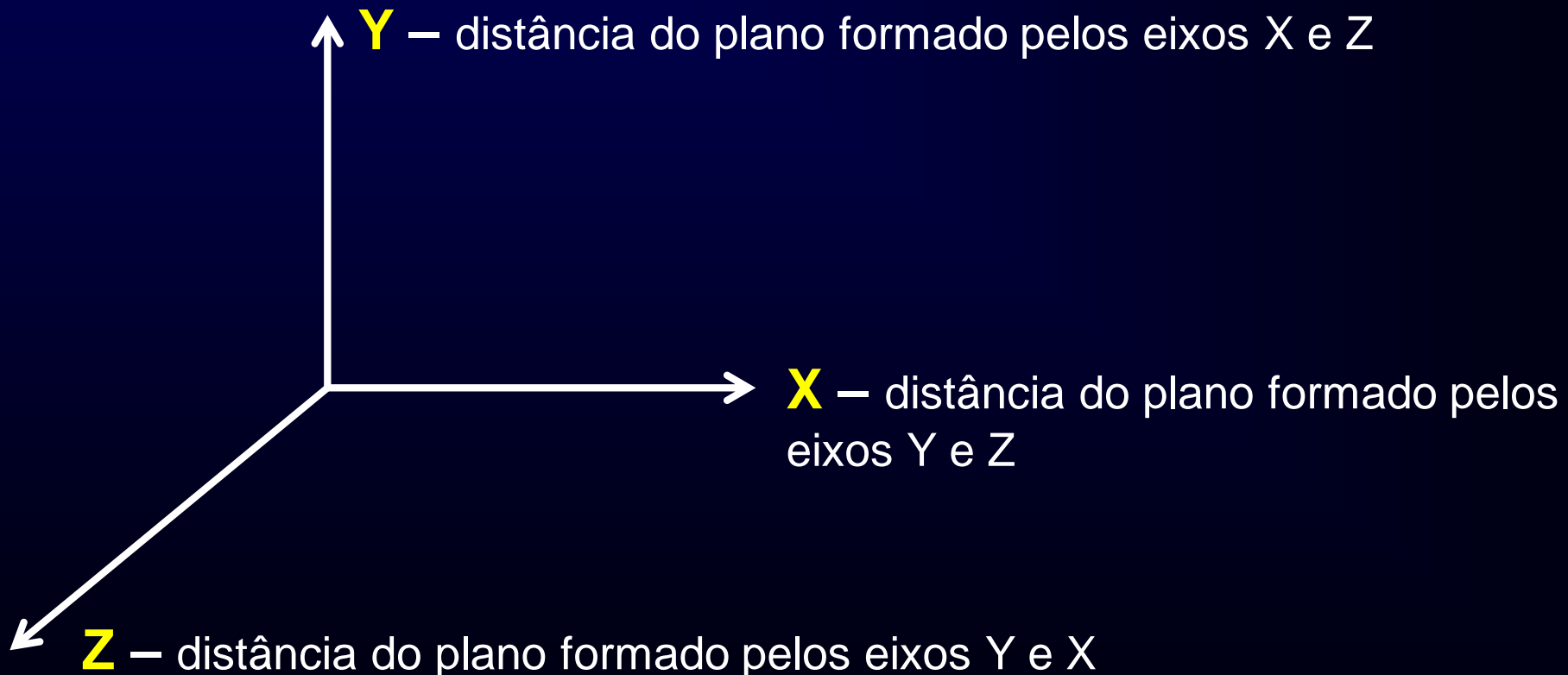
SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS



Os eixos podem apontar para qualquer direção desde que tenham ângulos retos entre si

CINEMÁTICA LINEAR

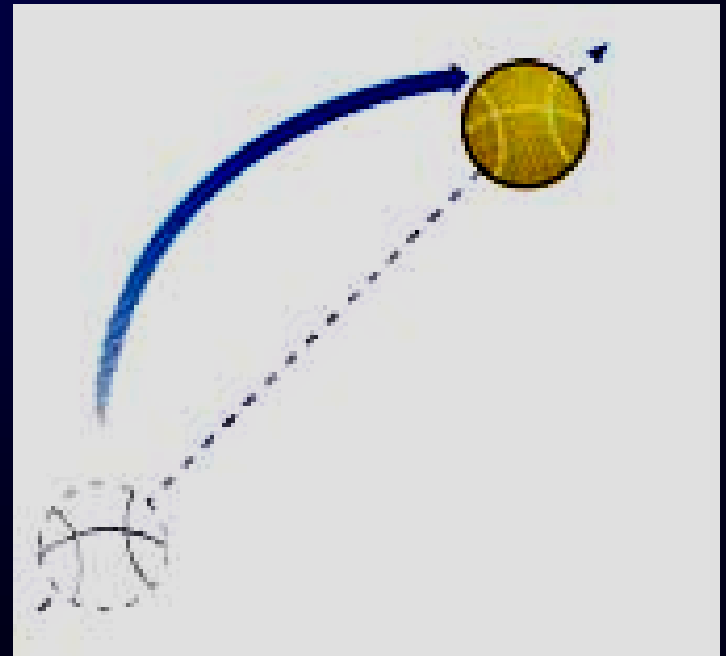
SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS



CINEMÁTICA LINEAR

DISTÂNCIA

Medida de comprimento do trajeto seguido pelo objeto cujo movimento está sendo descrito de uma posição inicial até uma posição final

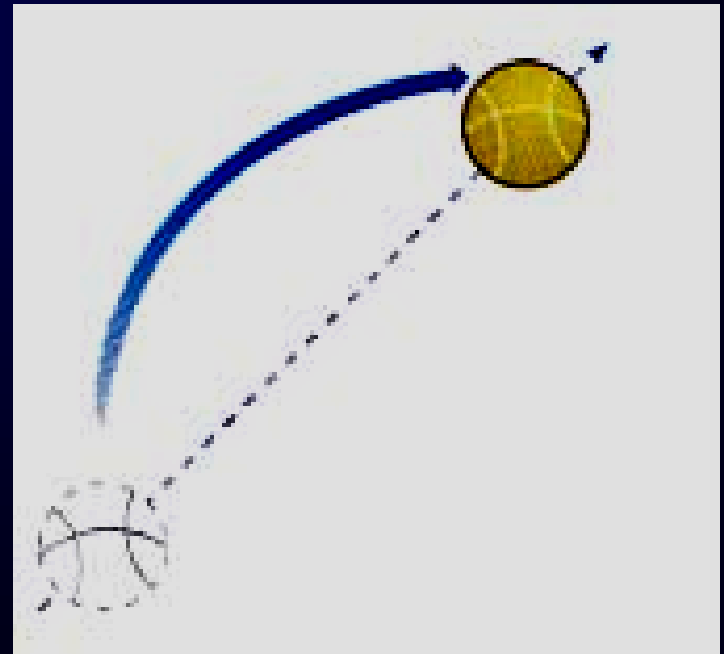


CINEMÁTICA LINEAR

Quantidade vetorial
MAGNITUDE e DIREÇÃO

DESLOCAMENTO

**Distância em linha reta em
uma direção específica da
posição inicial até a
posição final**



CINEMÁTICA LINEAR

DESLOCAMENTO

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

$$dx = \Delta x = x_f - x_i$$

$$(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 = R^2$$

CINEMÁTICA LINEAR

VELOCIDADE

Grandeza vetorial que indica de que forma um corpo muda de posição ao longo do tempo ou, em outras palavras, qual o tempo gasto para um objeto percorrer uma determinada distância

Unidade: m/s

CINEMÁTICA LINEAR

VELOCIDADE ESCALAR

Indica o valor numérico da velocidade, sem indicar sua direção e sentido

CINEMÁTICA LINEAR

VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA

**Distância percorrida pelo tempo que gasto para percorrer
esta distância**

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

CINEMÁTICA LINEAR

VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA

A velocidade escalar média não diz muito sobre o que ocorreu durante o movimento, não diz o quão rápido o corpo (um atleta, por exemplo) estava se movendo em qualquer instante específico e também não diz a velocidade máxima alcançada por ele

CINEMÁTICA LINEAR

100m rasos - Seul 1988

Ben Johnson



Canadá

X

Carl Lewis



Estados Unidos

posição (m)	Ben Johnson		Carl Lewis	
	tempo (s)	Δ tempo (s)	tempo (s)	Δ tempo (s)
0	0,00		0,00	
10	1,83	1,83	1,89	1,89
20	2,87	1,04	2,96	1,07
30	3,80	0,93	3,90	0,94
40	4,66	0,86	4,79	0,89
50	5,50	0,84	5,65	0,86
60	6,33	0,83	6,48	0,83
70	7,17	0,84	7,33	0,85
80	8,02	0,85	8,18	0,85
90	8,89	0,87	9,04	0,86
100	9,79	0,90	9,92	0,88

CINEMÁTICA LINEAR

Comparando a velocidade escalar média

Ben Johnson

$$v = \frac{100\text{m}}{9,79\text{s}}$$

$$v = 10,21\text{m/s}$$

Carl Lewis

$$v = \frac{100\text{m}}{9,92\text{s}}$$

$$v = 10,08\text{m/s}$$

X

CINEMÁTICA LINEAR

Média dos 50m iniciais dos 100m

Ben Johnson

$$v = \frac{50\text{m}}{5,50\text{s}}$$

$$v = 9,09\text{m/s}$$

Carl Lewis

$$v = \frac{50\text{m}}{5,65\text{s}}$$

$$v = 8,85\text{m/s}$$

CINEMÁTICA LINEAR

Média dos 50m finais dos 100m

Ben Johnson

$$v = \frac{50\text{m}}{4,29\text{s}}$$

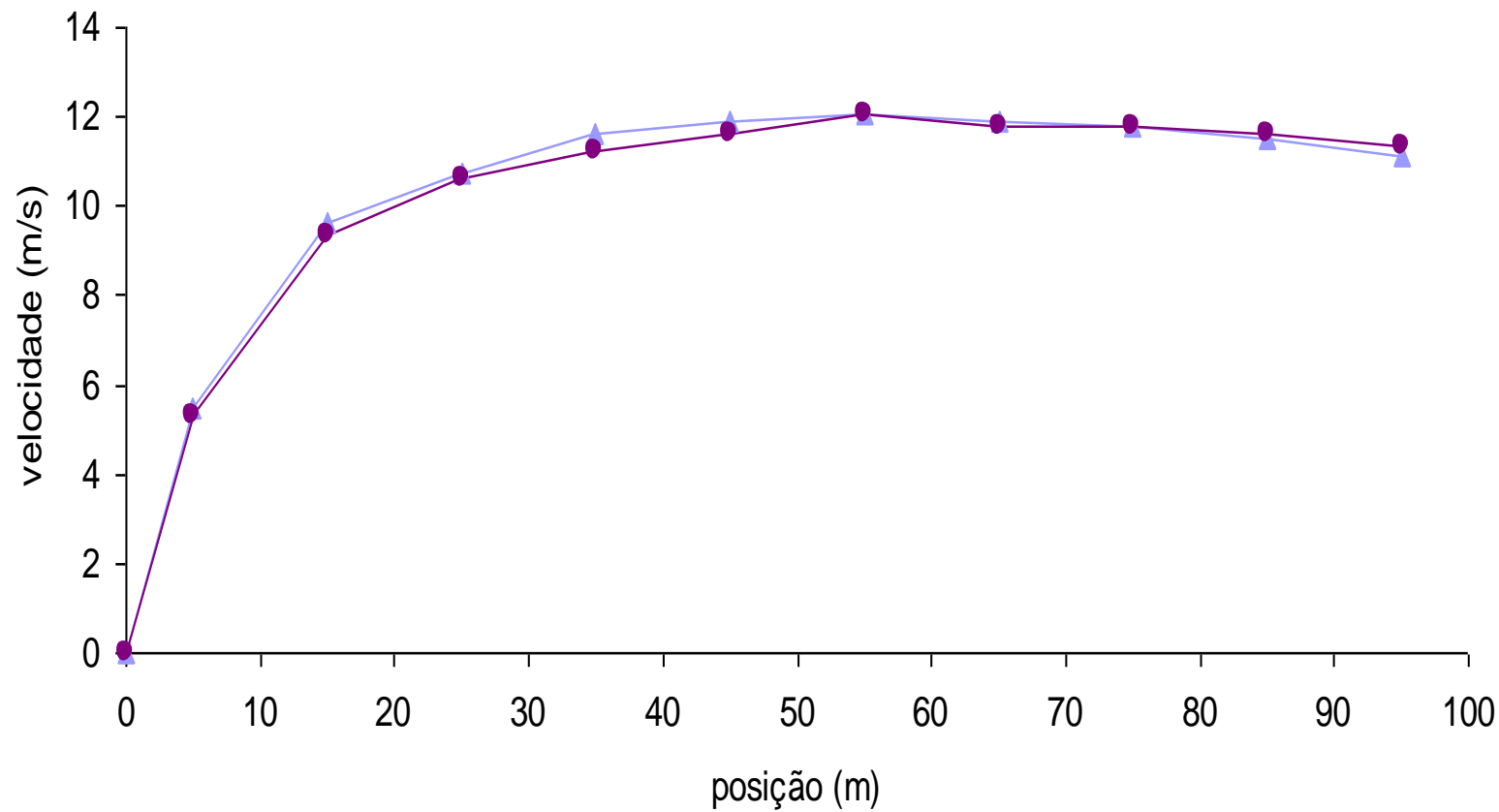
$$v = 11,66\text{m/s}$$

Carl Lewis

$$v = \frac{50\text{m}}{4,27\text{s}}$$

$$v = 11,71\text{m/s}$$

percurso (m)	Ben Johnson		Carl Lewis	
	Δ tempo (s)	velocidade (m/s)	Δ tempo (s)	velocidade (m/s)
0-10	1,83	5,46	1,89	5,29
10-20	1,04	9,62	1,07	9,35
20-30	0,93	10,75	0,94	10,64
30-40	0,86	11,63	0,89	11,24
40-50	0,84	11,90	0,86	11,63
50-60	0,83	12,05	0,83	12,05
60-70	0,84	11,90	0,85	11,76
70-80	0,85	11,76	0,85	11,76
80-90	0,87	11,49	0,86	11,63
90-100	0,90	11,11	0,88	11,36



—▲ Ben Johnson —● Carl Lewis

CINEMÁTICA LINEAR

Johnson ganhou a competição nos 50m iniciais

Até os 50m iniciais Johnson foi o mais rápido

Entre 50 – 60m eles alcançaram suas velocidades máximas

Após 60m ambos reduziram mas Johnson ficou mais lento principalmente nos 10m finais

CINEMÁTICA LINEAR

VELOCIDADE INSTANTÂNEA

Velocidade real do corpo em qualquer instante de tempo

$$\frac{\text{distância percorrida}}{\text{Intervalo de tempo}}$$

quando o intervalo de tempo
tende a zero

CINEMÁTICA LINEAR

ACELERAÇÃO

Grandeza vetorial que indica de que forma um corpo muda de velocidade ao longo do tempo ou, em outras palavras, qual o tempo gasto para um objeto sofrer determinada mudança na sua velocidade

Unidade: m/s^2

CINEMÁTICA LINEAR

ACELERAÇÃO

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

Um objeto acelera se a magnitude ou a direção da velocidade forem mudadas

CINEMÁTICA LINEAR

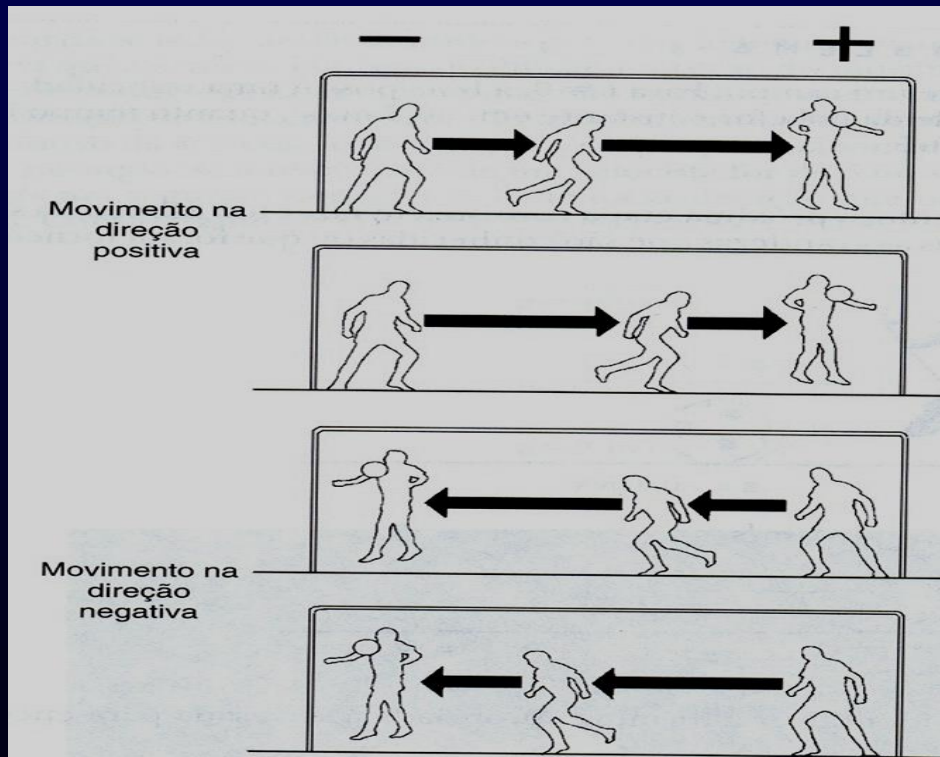
ACELERAÇÃO



**Uma bola lançada para cima
move-se cada vez mais
lentamente e então começa a
mover-se para baixo cada vez
mais rápida**

CINEMÁTICA LINEAR

ACELERAÇÃO



Velocidade aumentando
Aceleração positiva

Velocidade diminuindo
Aceleração negativa

Velocidade aumentando
Aceleração negativa

Velocidade diminuindo
Aceleração positiva

CINEMÁTICA LINEAR

ACELERAÇÃO INSTANTÂNEA

Aceleração em um instante de tempo. Indica o índice de mudança de velocidade naquele instante de tempo

**A direção do movimento
não indica a direção da
aceleração**

CINEMÁTICA LINEAR

MOVIMENTO DE PROJÉTEIS



CINEMÁTICA LINEAR

PROJÉTEIS

Corpo em movimento sujeito a apenas forças da gravidade e a resistência do ar

COMPONENTE VERTICAL – é influenciada pela gravidade, relaciona-se com a altura máxima atingida

COMPONENTE HORIZONTAL – nenhuma força (ignorando-se a resistência do ar) afeta essa componente que relaciona-se com a distância que o projétil percorre

CINEMÁTICA LINEAR

PROJÉTEIS

Os objetos tornam-se projéteis uma vez que são arremessados, liberados ou atirados se a resistência do ar for insignificante



Depois que a bola é abandonada as ações humanas não podem afetar mais o curso

CINEMÁTICA LINEAR

PROJÉTEIS

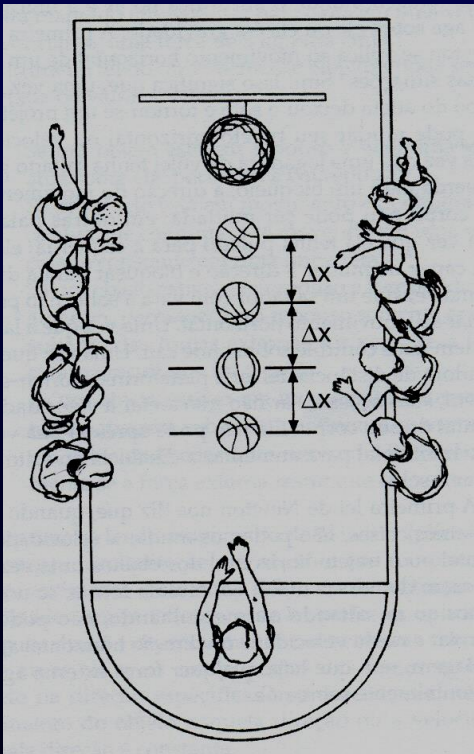
O corpo humano pode ser um projétil



Corpo do atleta deixou o solo – tornou-se um projétil e não pode mais mudar sua trajetória ou velocidade horizontal

CINEMÁTICA LINEAR

MOVIMENTO HORIZONTAL DE UM PROJÉTIL



A velocidade horizontal de um projétil é constante e seu movimento horizontal é constante

As imagens alinham-se ao longo de uma linha reta, de tal forma que o deslocamento da bola está em uma linha reta. O deslocamento em cada intervalo de tempo é o mesmo, logo a velocidade da bola é constante

CINEMÁTICA LINEAR

MOVIMENTO VERTICAL DE UM PROJÉTIL



A aceleração vertical de um projétil é constante

A velocidade vertical do projétil está constantemente reduzida, em $9,81\text{m/s}$ para cada segundo de vôo para cima e constantemente aumentada em $9,81\text{m/s}$ para cada segundo de vôo para baixo

CINEMÁTICA LINEAR

GRAVIDADE

É uma força “constante e imutável” que produz uma aceleração vertical descendente constante

$$g = - 9,81\text{m/s}^2$$



Essa aceleração se mantém constante independente do tamanho, formato ou peso do projétil

CINEMÁTICA LINEAR

GRAVIDADE

O componente vertical da velocidade inicial de lançamento determina o deslocamento vertical máximo conseguido por um corpo lançado de determinada altura relativa de projeção

CINEMÁTICA LINEAR

Velocidade
diminui



GRAVIDADE



velocidade = 0



Velocidade
aumenta

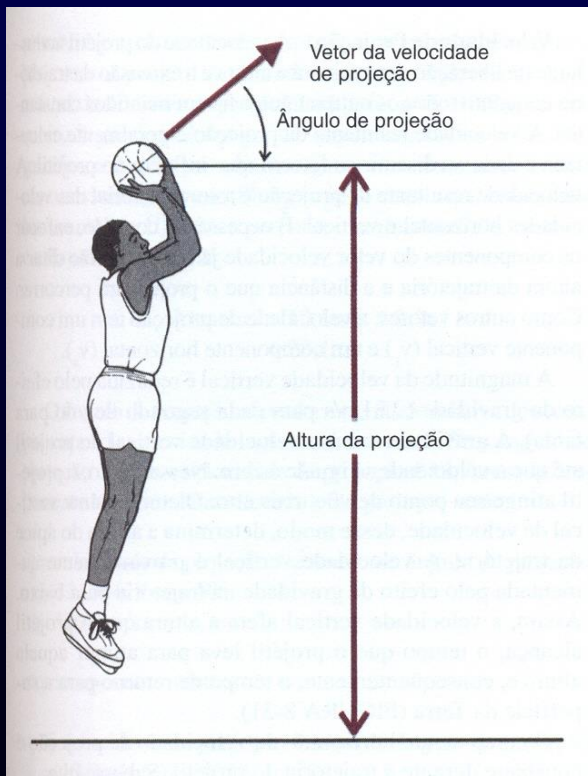
CINEMÁTICA LINEAR

INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO AR

Se for ignorada a resistência do ar, a velocidade horizontal de um projétil permanece constante durante toda a trajetória

CINEMÁTICA LINEAR

FATORES QUE INFLUENCIAM A TRAJETÓRIA



velocidade de lançamento

ângulo de lançamento

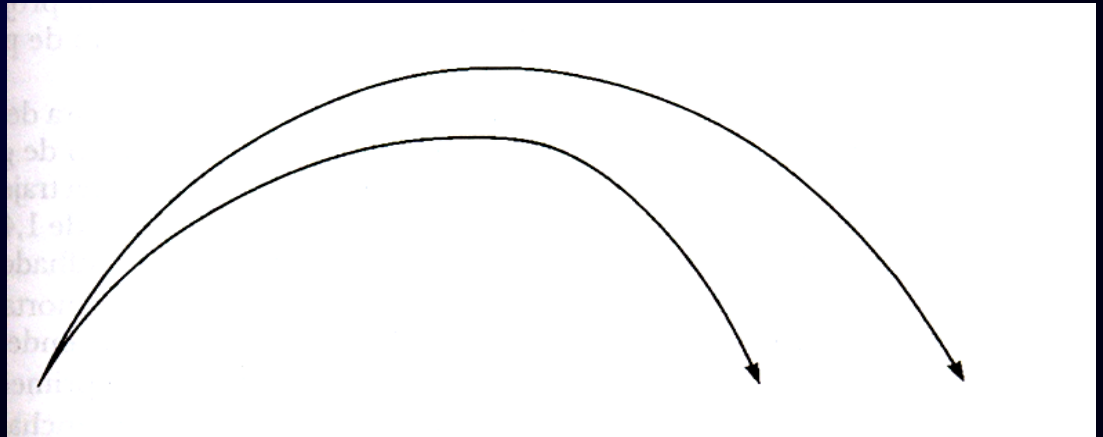
altura relativa de lançamento

CINEMÁTICA LINEAR

FATORES QUE INFLUENCIAM A TRAJETÓRIA

VELOCIDADE DE LANÇAMENTO

Determina o comprimento ou tamanho da trajetória de um projétil

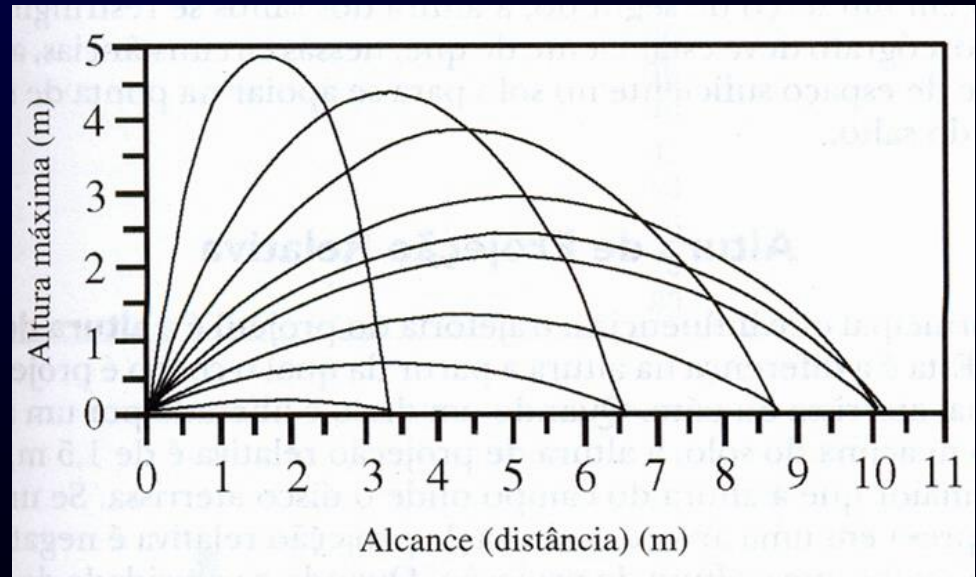


CINEMÁTICA LINEAR

FATORES QUE INFLUENCIAM A TRAJETÓRIA

ÂNGULO DE LANÇAMENTO

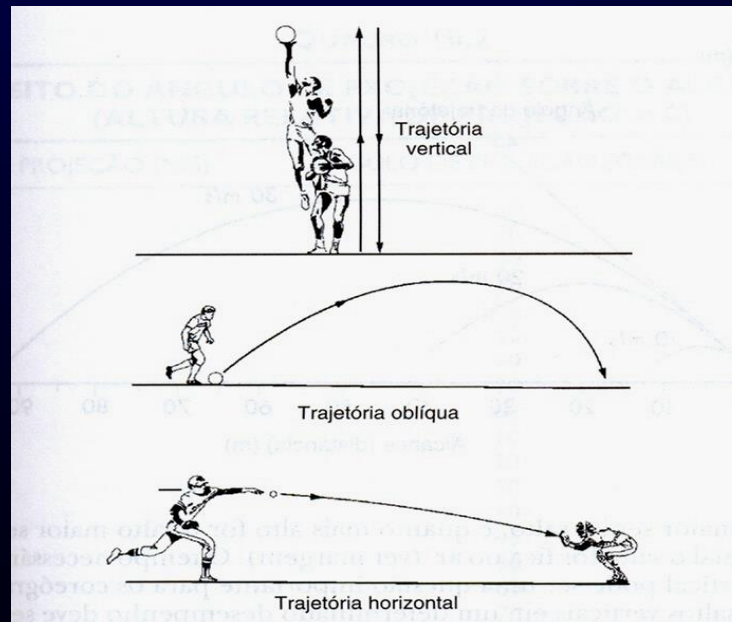
É particularmente importante na prática de arremessos



CINEMÁTICA LINEAR

FATORES QUE INFLUENCIAM A TRAJETÓRIA

ÂNGULO DE LANÇAMENTO



CINEMÁTICA LINEAR

FATORES QUE INFLUENCIAM A TRAJETÓRIA

ângulo perfeitamente vertical (90°) → trajetória vertical seguindo o mesmo caminho retilíneo para subir e para descer

ângulo oblíquo (entre 0° e 90°) → trajetória parabólica

ângulo perfeitamente horizontal (0°) → trajetória igual à metade de uma parábola

CINEMÁTICA LINEAR

FATORES QUE INFLUENCIAM A TRAJETÓRIA

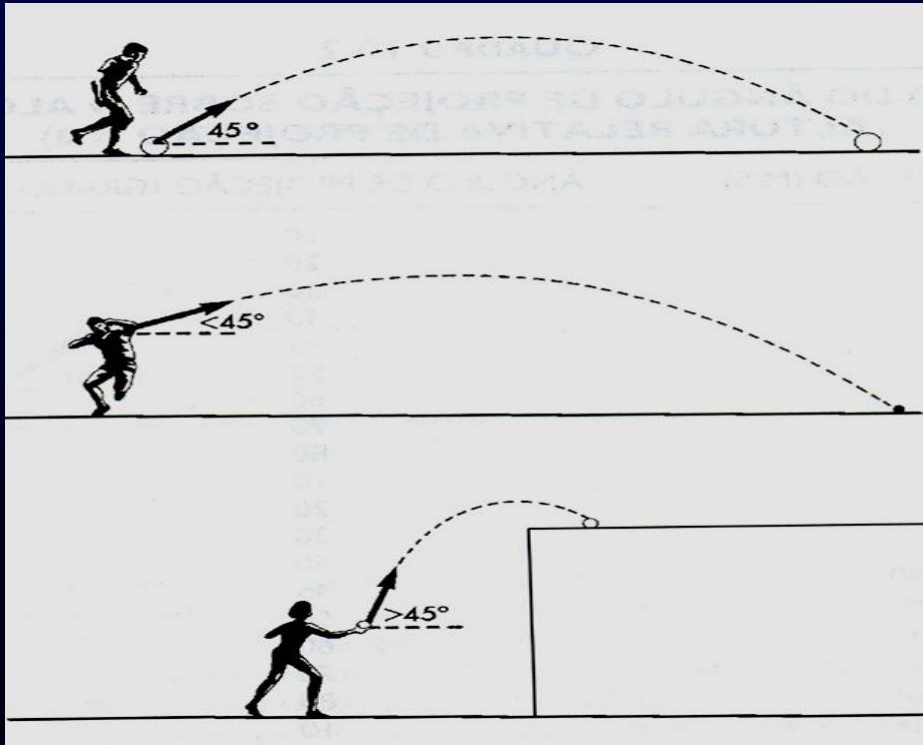
ALTURA RELATIVA DE LANÇAMENTO

Diferença entre altura de lançamento e a altura de aterragem

Quando a velocidade de projeção é constante uma maior altura de projeção relativa equivale a um maior período de permanência no ar e a um maior deslocamento horizontal do projétil

CINEMÁTICA LINEAR

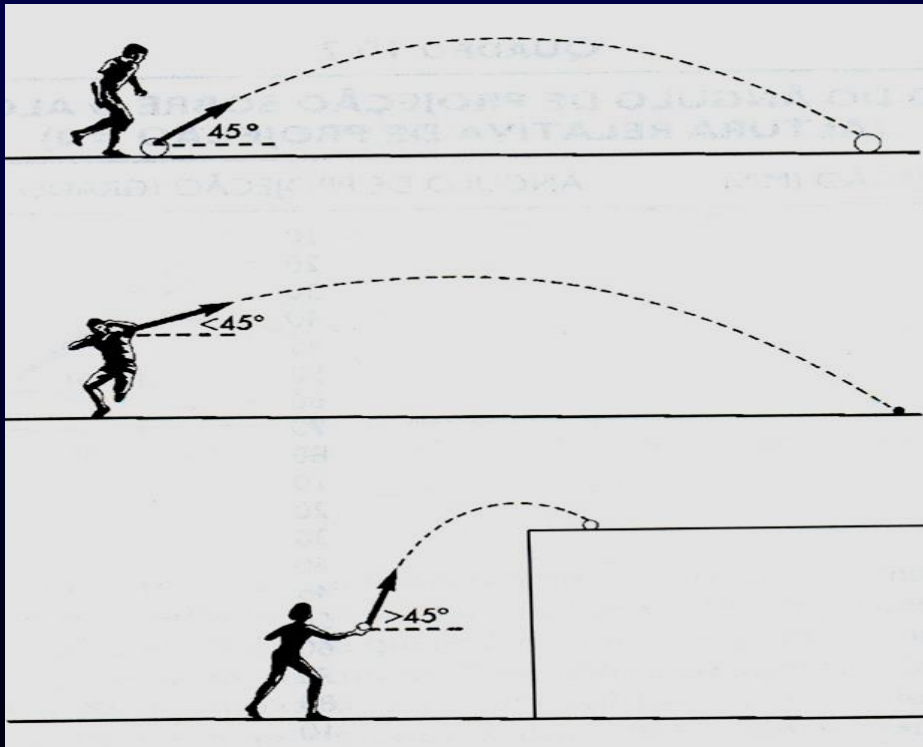
CONDIÇÕES ÓTIMAS DE LANÇAMENTO



Quando a resistência do ar não é considerada, o ângulo ótimo de lançamento baseia-se na altura relativa de lançamento

CINEMÁTICA LINEAR

CONDIÇÕES ÓTIMAS DE LANÇAMENTO



zero = ângulo ótimo de lançamento igual a 45°

positiva = ângulo ótimo de lançamento menor que 45°

negativa = ângulo ótimo de lançamento maior que 45°

CINEMÁTICA LINEAR

Equações do movimento

MRU

$$s = s_0 + vt$$

MRUV

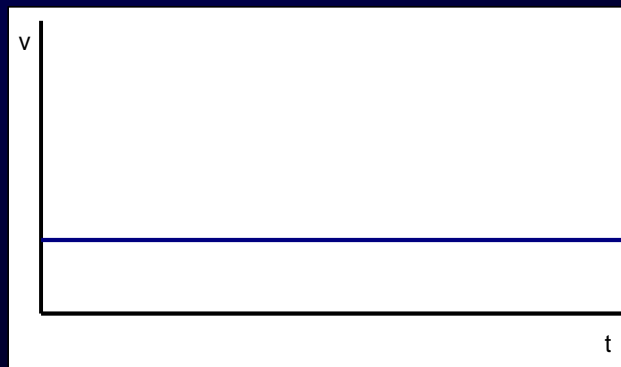
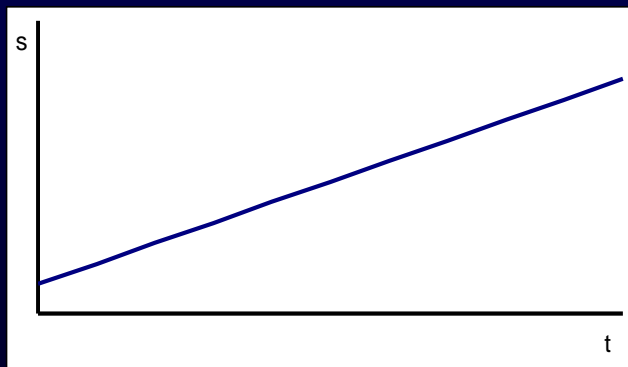
$$s = s_0 + v_0 t + at^2/2$$

$$v = v_0 + at$$

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

CINEMÁTICA LINEAR

MRU



CINEMÁTICA LINEAR

MRUV

