

Visão Computacional e Deep Learning na Análise do Movimento de Atletas

Perspectivas para a análise de desempenho

Prof. Dr. Paulo Roberto Pereia Santiago

Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto (EEFERP) - USP
Laboratório de Biomecânica e Controle Motor (LaBioCoM)

IV Simpósio de Tecnologia Aplicada à Análise de Desempenho Esportivo
27 e 28 de Fevereiro de 2026

Agenda

- 1 O Contexto e a Dor do Esporte
- 2 O Arsenal Tecnológico: Visão Computacional e Deep Learning
- 3 Mão na Massa: Validações Científicas do LaBioCoM
- 4 A Fronteira do Conhecimento e Perspectivas

Soberania Tecnológica: Criadores vs. Consumidores

- O mercado esportivo brasileiro é historicamente dependente de tecnologias importadas (EUA, Europa, Austrália).
- Consumo de hardwares caríssimos e softwares fechados (*Black Boxes*).
- O atual boom da Inteligência Artificial: ChatGPT, Gemini, Claude, Grok... onde está a tecnologia nacional?
- A urgência de deixarmos de ser apenas “usuários *premium*” para nos tornarmos **desenvolvedores** das nossas próprias soluções.

A Ilusão do Domínio: Somos Apertadores de Botões?

- Temos a facilidade de comprar o *software* mais caro e o *hardware* mais moderno.
- **O Problema:** Sabemos onde clicar, mas não sabemos o que acontece no “silício” .
- *Analogia da Memória:* Tratamos a tecnologia como uma caixa preta de *bits* consumíveis, não como geração de conhecimento.



A Ilusão do Domínio: O que há por trás do botão?



Journals ▾

Search ▾

Publish ▾

Access provided by
Sistema Integrado de Bibliotecas...



Dr Paulo Santiago ▾



Home ▶ All Journals ▶ Sports and Leisure ▶ Journal of Sports Sciences ▶ List of Issues ▶ Latest Articles ▶ Examining the concurrent validity of mar

 **Journal of Sports Sciences** ▾
Latest Articles

Enter keywords, authors, DOI, etc This journal Advanced search

Submit an article

2,432 Views  Listen  

2 CrossRef citations to date 

0 Altmetric 

Special Issue Paper  Open access

Examining the concurrent validity of markerless motion capture in dual-athlete team sports movements

G. A. Oonk , M. Kempe, K. A. P. M. Lemmink & T. J. W. Buirke

Received 31 Oct 2024, Accepted 17 Apr 2025, Published online: 27 Jun 2025

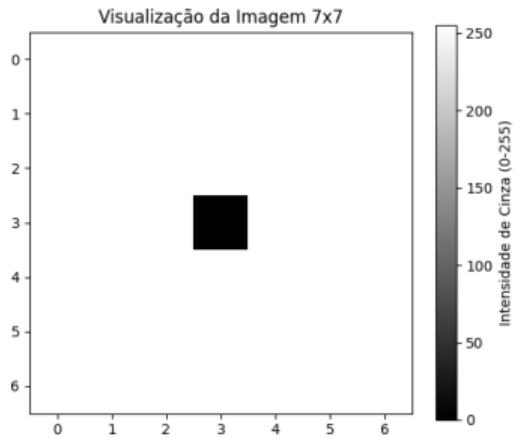
 Cite this article  <https://doi.org/10.1080/02640414.2025.2497678> 

 Full Article  Figures & data  References  Citations  Metrics  Licensing  Reprints & Permissions

 View PDF  View EPUB  Share

Related research 

A Ilusão do Domínio: A Ciência do Pixel



Provocação Metodológica

Como vamos discutir a complexidade da análise de desempenho se não sabemos como funciona o motor do algoritmo?

A Ilusão do Domínio: A Realidade dos Dados Brutos

```
VISÃO EM BITS (BASE 2):  
-----  
11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111  
11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111  
11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111  
11111111 11111111 00000000 11111111 11111111 11111111 11111111  
11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111  
11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111  
11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111  
-----  
(valla)  
# preto @ xps9320 in ~/Preto/USP_RP/Divulgacao/CompVison_ML_MovSport_2026_USP/src on codeimage [11:02:12 26-02-27]  
$ xxd -b -c 7 pixel_centeral_7x7.raw  
00000000: 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 .....  
00000007: 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 .....  
0000000e: 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 .....  
00000015: 11111111 11111111 00000000 11111111 11111111 11111111 .....  
0000001c: 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 .....  
00000023: 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 .....  
0000002a: 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 11111111 .....  
(valla)  
# preto @ xps9320 in ~/Preto/USP_RP/Divulgacao/CompVison_ML_MovSport_2026_USP/src on codeimage [11:02:21 26-02-27]  
$ xxd -b -c 7 pixel_centeral_7x7.png  
00000000: 10001001 01001000 01001110 01000111 00001101 00001010 00011010 .PNG..  
00000007: 00001010 00000000 00000000 00000000 00001101 01001001 01001000 ....IH  
0000000e: 01000100 01010010 00000000 00000000 00000000 00000111 00000000 DR....  
00000015: 00000000 00000000 00000111 00001000 00000000 00000000 00000000 .....  
0000001c: 00000000 11000001 00011001 00001000 00000111 00000000 00000000 .....  
00000023: 00000000 00011001 01001001 01000001 01010100 01111000 ..IDATX  
0000002a: 10001100 01000011 11001110 11000000 11000000 11000000 ..c.....  
00000031: 11000000 11000000 11000100 10000000 01001001 00110011 .....I3  
00000038: 01000010 11010100 11111111 01011000 11000100 00000001 01001100 B..X..L  
0000004f: 10010001 00000010 00001101 00011111 11000000 00001111 11001101 .....  
00000046: 00000000 00000000 00000000 01001001 01000101 01000110 ....IEN  
0000004d: 01000100 10101110 01000010 01100000 10000010 D.B.  
(valla)  
# preto @ xps9320 in ~/Preto/USP_RP/Divulgacao/CompVison_ML_MovSport_2026_USP/src on codeimage [11:02:54 26-02-27]  
$
```

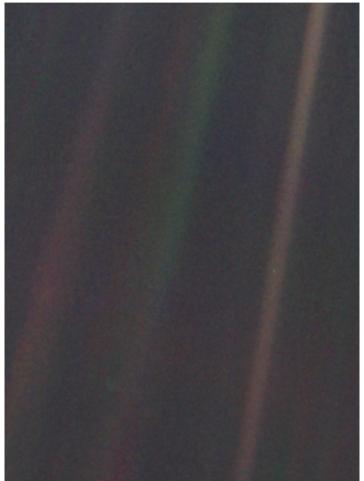
Separando o *Hype* da Ciência: O Falso Domínio



O Hype Tecnológico

O perigo das “caixas pretas” e promessas mágicas sem validação.

Separando o *Hype* da Ciência: O Pálido Ponto Azul



O Pálido Ponto Azul

O rigor metodológico: encontrar e rastrear o sinal (*pixel*) verdadeiro no meio do ruído cósmico (ou da quadra).

A Nossa Resposta: Desenvolvimento e Validação Nacional

- Rompendo a dependência de "caixas pretas" por meio da construção e validação de algoritmos de código aberto (*open-source*).
- **Futebol de Campo:** Validação de métodos *markerless* baseados em *machine learning* contra a digitalização 3D tradicional para a análise cinemática do chute [Vieira et al., 2022].
- **Desportos de Combate:** Avaliação da precisão de arquiteturas como o *OpenPose* para rastreamento de atletas em áreas oficiais de Taekwondo [Banks et al., 2024].
- **Movimentos Complexos:** Desenvolvimento de *pipelines* próprios (baseados em *MediaPipe*) para quantificação da cinemática 2D em exercícios como o agachamento [Pereira et al., 2025].

Nossa Publicação: *Markerless no Futebol*

International Journal of Environmental Research and Public Health

Submit to this Journal

Review for this Journal

Propose a Special Issue

Article Menu

Academic Editors

Kerstin Witte

Arnold Baca

Paul B. Tchounwou

Related Info Links

More by Authors Links

Article Views 6946

Comments 17

Open Access Technical Note

Order Article Reprints

Almetric

Share

Help

Cite

Discuss in SciProfiles

Automatic Markerless Motion Detector Method against Traditional Digitisation for 3-Dimensional Movement Kinematic Analysis of Ball Kicking in Soccer Field Context

by Luiz H. Palucci Vieira 1,* , Paulo R. P. Santiago 2,† , Allan Pinto 3,‡ , Rodrigo Aquino 2,4,§ , Ricardo da S. Torres 5  and Fábio A. Barbieri 1 

1 Human Movement Research Laboratory (MOVI-LAB), Graduate Program in Movement Sciences, Department of Physical Education, Faculty of Sciences, São Paulo State University (Unesp), Bauru 17033-360, SP, Brazil

2 LaBioCoM Biomechanics and Motor Control Laboratory, EEFERP School of Physical Education and Sport of Ribeirão Preto, USP University of São Paulo, Campus Ribeirão Preto, Ribeirão Preto 14040-907, SP, Brazil

3 Reasoning for Complex Data Laboratory (RECOD Lab), Institute of Computing, University of Campinas, Campinas 13083-852, SP, Brazil

4 FMRP Faculty of Medicine at Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto 14049-900, SP, Brazil

5 LabSport, Department of Sports, CEFD Center of Physical Education and Sports, UFES Federal University of Espírito Santo, Vitória 29075-910, ES, Brazil

6 Department of ICT and Natural Sciences, NTNU–Norwegian University of Science and Technology, 6009 Ålesund, Norway

* Author to whom correspondence should be addressed.

† These authors contributed equally to this work.

Int. J. Environ. Res. Public Health **2022**, *19*(3), 1179; <https://doi.org/10.3390/ijerph19031179>

Submission received: 9 November 2021 / Revised: 12 January 2022 / Accepted: 14 January 2022 / Published: 21 January 2022

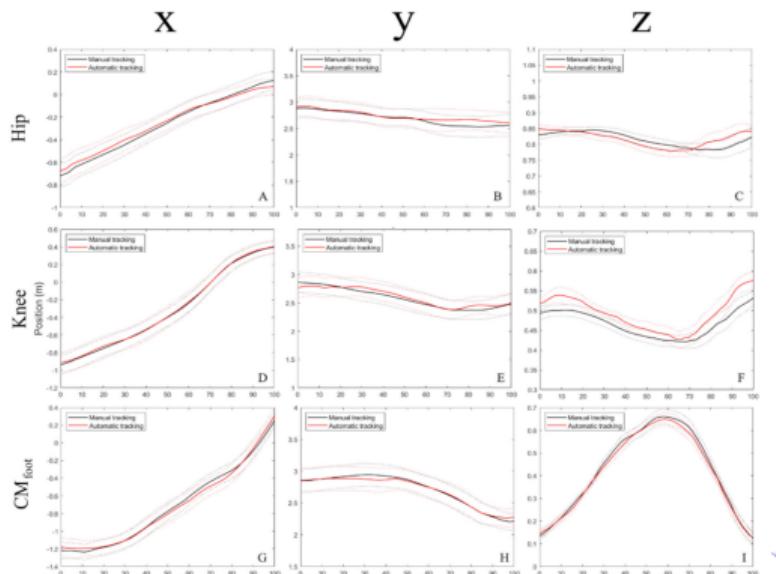
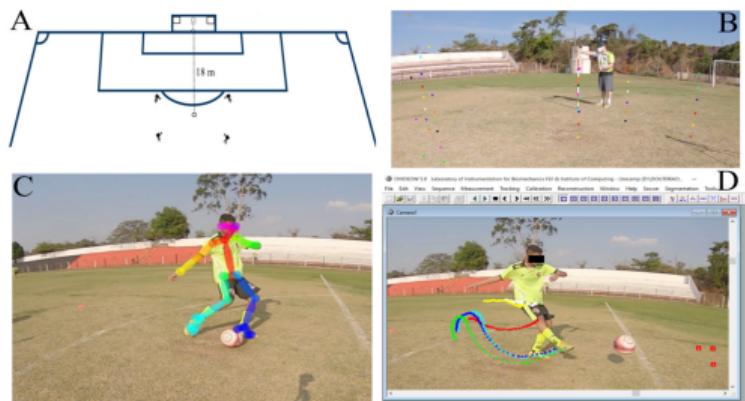
(This article belongs to the Special Issue *Sports Biomechanics*)

Download Browse Figures Review Reports Versions Notes

Back to Top

Validação em Cenário Real: O Chute no Futebol

- Comparação visual do método *markerless* automático contra a digitalização manual 3D tradicional [Vieira et al., 2022].



Código Aberto: Entendendo o Motor na Prática

- Para romper a cultura da "caixa preta", todo o código discutido aqui é *open-source*.
- Desenvolvemos um *pipeline* completo em *Python* (utilizando *PyTorch*) para provar o conceito básico de *Deep Learning*.

O que você encontrará no repositório (`src/`):

- **Demonstração didática:** `img7x7.py` (matriz no terminal e bits);
`png2raw.py` (PNG → RAW).
- **Geração de Dados:** `makedataset.py` (Construção de matrizes e *datasets* sintéticos).
- **O Treinamento:** `trainblack7x7.py` (Uma Rede Neural Convolucional (CNN) feita do zero para prever coordenadas espaciais).
- **A Inferência:** `predictblackdot.py` (Ferramentas de terminal (CLI) para testar o rastreamento em novas imagens).

O Paradigma Tradicional vs. Validade Ecológica

Padrão-Ouro (Laboratório)

- Captura optoeletrônica com marcadores.
- Alta precisão, mas restrito a um ambiente rigidamente controlado.
- Invasivo e inviável em situação real de jogo.

Demandas Ecológica (Campo)

- Avaliação durante o treino ou competição real.
- Necessidade de respostas rápidas para a equipe técnica.
- A "*dor* do clube": horas e horas de vídeo armazenadas, mas pouca capacidade de extrair métricas biomecânicas açãoáveis.

A Revolução da Captura sem Marcadores

- Como as Redes Neurais Profundas viabilizaram a *Markerless Motion Capture*.
- Democratização da extração de variáveis cinemáticas a partir de câmeras RGB comuns.
- Superando os ruídos e calibrando a predição para movimentos esportivos complexos.

Detecção e Rastreamento com YOLO

- **YOLO (You Only Look Once):** Eficiência para identificar e rastrear múltiplos atletas em tempo real.
- O desafio da oclusão constante em desportos coletivos.
- Associações temporais e espaciais para manter a identidade do atleta ao longo do vídeo.

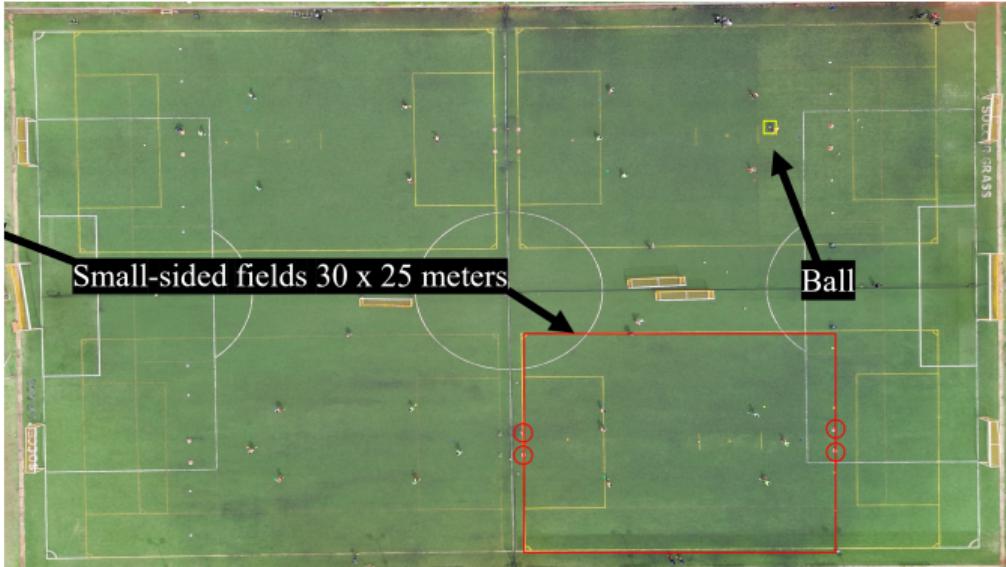


Detecção e Rastreamento com YOLO



Faça o tracking aí então!

Detecção e Rastreamento com YOLO



E agora!

Estimativa de Pose com MediaPipe

- Modelagem do esqueleto 2D e 3D diretamente da imagem.
- Cálculo de ângulos articulares, velocidades e assimetrias na marcha/corrida.
- Da imagem bruta para o modelo biomecânico: validando os pontos anatômicos.



Quando o Padrão Falha: Limites do MediaPipe

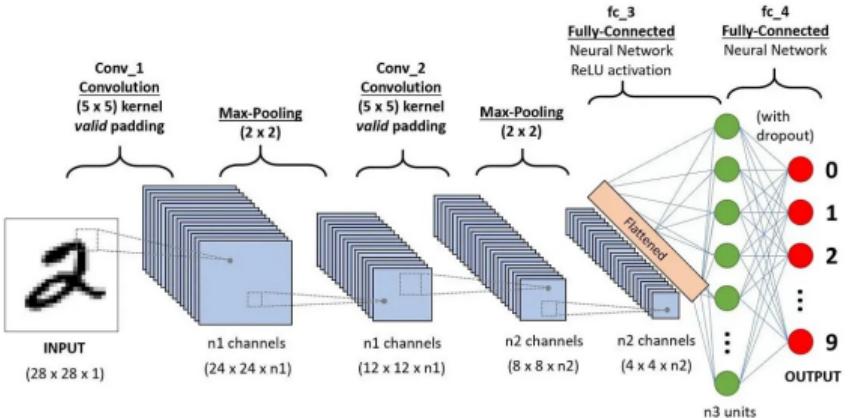


⚠ **Falha de detecção:** Objeto/Alvo muito pequeno (*Small*) para os modelos pré-treinados padrão.

Da Visão Computacional Clássica ao Deep Learning

- Saímos da engenharia manual de *features* (bordas, filtros, regras) para aprender diretamente a partir dos pixels.
- Redes neurais aprendem representações hierárquicas, tornando os modelos mais robustos a ruídos e variações do cenário real.
- O mesmo motor matemático serve da classificação simples à análise biomecânica avançada de movimentos.

Como uma CNN Enxerga



- Convoluções + ReLU: extraem padrões locais (bordas, texturas, formas).
- *Pooling*: reduz a dimensão e concentra a informação relevante.
- Camadas totalmente conectadas: transformam *features* em decisão (classes, coordenadas, probabilidades).

O que é a rede do repositório? RastreadorDePontoCNN

Objetivo didático: uma CNN pequena que recebe uma imagem 7×7 em escala de cinza e prediz as coordenadas (x, y) do ponto preto.

Estrutura (fluxo dos dados):

- **Entrada:** 1 canal, 7×7 .
- **Bloco convolucional:** duas Conv2d ($1 \rightarrow 8$, $8 \rightarrow 16$, kernel 3×3) + ReLU.
- **Bloco denso:** Flatten ($784 \rightarrow 784$) \rightarrow Linear $784 \rightarrow 32 \rightarrow$ ReLU \rightarrow Linear $32 \rightarrow 2$.
- **Saída:** dois números (coordenadas x , y).

Como “ver” a rede na prática:

O script `visualizar_rede.py` do repositório:

- Imprime no terminal a estrutura em texto (camadas, formas dos tensores, total de parâmetros).
- Gera um diagrama em PNG do fluxo das camadas para uso em aula.
- Opcionalmente exporta o modelo para ONNX (visualização no Netron).

Visualização da rede: diagrama gerado pelo script

RastreadorDePontoCNN — fluxo dos dados (esquerda → direita)

Uso em aula: cada caixa é uma camada; as setas indicam o fluxo da informação.

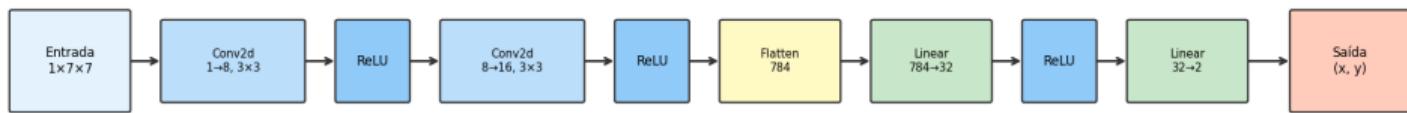


Diagrama produzido por `visualizar_rede.py`; cada caixa é uma camada e as setas indicam o fluxo da informação (esquerda → direita).

PyTorch para Visão Computacional

- Framework dominante em Visão Computacional e *Machine Learning* pela flexibilidade do grafo dinâmico e facilidade de experimentação.
- Ecossistema robusto com `torchvision`: *datasets*, modelos pré-treinados e *transforms* prontos para uso.
- Forte integração com pesquisa e produção: do experimento no laboratório ao deploy em servidores e dispositivos embarcados.



Ecossistema de Visão no PyTorch

- **Datasets:** acesso direto a ImageNet, CIFAR-10, MNIST, COCO e outros.
- **Modelos pré-treinados:** ResNet, EfficientNetV2, ConvNeXt, ViT, Swin, Mask R-CNN, entre outros.
- **Transforms:** pré-processamento e *data augmentation* (resize, crop, rotação, normalização).
- **Ferramentas:** PyTorch Hub, tutoriais oficiais e exemplos de *transfer learning*.

Workflow em PyTorch para Visão

- ① **Preparação de dados:** Dataset + DataLoader (imagens → tensores).
- ② **Definição do modelo:** CNNs ou Transformers com `torch.nn`.
- ③ **Treinamento:** autograd + otimizadores (SGD/Adam) + loop de épocas.
- ④ **Avaliação e inferência:** métricas em dados novos, salvamento e exportação (TorchScript/ONNX).

Aplicações em Visão com Deep Learning

- Classificação de imagens (ex.: tipo de gesto, tipo de jogada, padrões de movimento).
- Detecção de objetos (jogadores, bola, linhas, alvos, equipamentos).
- Segmentação de cenas (separar atleta/fundo, zonas do campo, regiões corporais).
- Modelos multimodais (visão + linguagem, modelos de difusão para simulação e geração de cenários).

Escolhendo o Modelo de Classificação

- **CNNs modernas** (EfficientNetV2, ConvNeXt): equilíbrio entre acurácia e custo computacional, ideais para *transfer learning*.
- **Transformers visuais** (ViT, Swin): brilham com pré-treinamento massivo, quando há muito dado e a prioridade é desempenho de ponta.
- **Modelos para borda/mobile** (MobileNetV3) vs. modelos mais pesados (ConvNeXt/ViT): *trade-off* entre latência, memória e precisão.

Sempre considerar latência, consumo de memória e robustez, não apenas a acurácia top-1.

Começando na Prática

- Tutorial oficial de *Transfer Learning* em visão com PyTorch como ponto de partida.
- Uso de modelos pré-treinados de `torchvision.models` com poucas linhas de código.
- Adaptação das últimas camadas para o seu *dataset* esportivo (fine-tuning parcial ou total).

vailá Multimodal Toolbox: Integração e Liberdade [Santiago et al.,

- Ecossistema *open-source* em *Python* que resolve a complexidade da integração de dados biomecânicos.
- Liberta o pesquisador e o analista das “caixas pretas” e do “pesadelo” de sincronizar diferentes fontes.

 github.com/vaila-multimodaltoolbox/vaila



A Provocação do VAR Semiautomático

- A Premier League adotou dezenas de *smartphones* comuns para a Tecnologia de Impedimento Semiautomático (SAOT).
- **A Provocação:** Se a liga mais rica do mundo extrai métricas de elite usando celulares, o segredo não é o *hardware* de 100 mil dólares, é o **algoritmo**.
- *Se é possível fazer com um celular de prateleira, nós também podemos fazer aqui!*

Veja na prática:

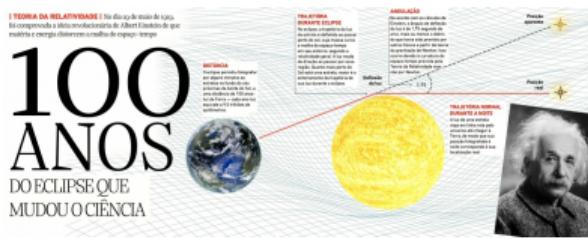
<https://www.youtube.com/watch?v=af6P0P25HQk>
https://www.youtube.com/shorts/kxUme_Sg0zc

O diferencial competitivo migrou da câmera para a inteligência em *software*.

Confirmação da Relatividade Geral: O Papel da História

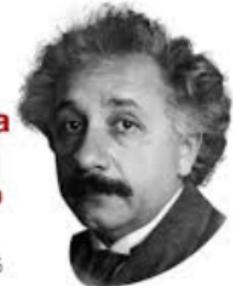
A 1^a Guerra Mundial (1914-1918) impediu a primeira tentativa de validação da teoria de Einstein:

- **1914 (Fracasso):** Erwin Freundlich liderou expedição à Crimeia. A eclosão da guerra causou a prisão da equipe pelos russos, abortando a missão.
- **A “Sorte” de Einstein:** Em 1914, os cálculos de Einstein ainda estavam incompletos. O fracasso evitou que dados imprecisos refutassem a teoria prematuramente.
- **1915:** Einstein finaliza as equações da Relatividade Geral.
- **1919 (Sucesso):** Arthur Eddington lidera expedições a **Sobral (Brasil)** e Ilha do Príncipe, confirmando o desvio da luz solar e validando Einstein mundialmente.



“O problema concebido pela minha mente foi respondido pelo luminoso céu do Brasil”

- Albert Einstein, 1925



Take-home Message

A IA e a Visão Computacional não substituem o treinador; elas fornecem a lente de precisão para a sua intuição e experiência.

Obrigado!

Prof. Dr. Paulo Santiago
EEFERP-USP / LaBioCoM



https://github.com/paulopreto/CompVison_ML_MovSport_2026_USP

Referências |

-  Banks, L. d. S., Santiago, P. R. P., Torres, R. d. S., de Oliveira, D. C. X., and Moura, F. A. (2024).
Accuracy of a markerless system to estimate the position of taekwondo athletes in an official combat area.
International Journal of Performance Analysis in Sport, 24(5):479–494.
-  Pereira, D. R., Catelli, D. S., Santiago, P. R. P., and Bedo, B. L. S. (2025).
Markerless pixel-based pipeline for quantifying 2d lower limb kinematics during squatting: A preliminary validation study.
Biomechanics, 6(1):1.
-  Santiago, P. R. P. et al. (2024).
vailá: Versatile anarcho integrated liberation analysis in multimodal toolbox.

Referências II

-  Vieira, L. H. P., Santiago, P. R. P., Pinto, A., Aquino, R., Torres, R. d. S., and Barbieri, F. A. (2022).
Automatic markerless motion detector method against traditional digitisation for 3-dimensional movement kinematic analysis of ball kicking in soccer field context.
International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3):1179.