



# Análise e Orientação de Postura nos Exercícios de Calistenia Usando Estimativa de Pose Humana

Vinícius de Oliveira Dias  
Unioeste  
Foz do Iguaçu, Brasil  
vinicius.dias2@unioeste.br

Claudio Roberto Marquetto Mauricio  
Unioeste  
Foz do Iguaçu, Brasil  
claudio.mauricio@unioeste.br

Fabiana Frata Furlan Peres  
Unioeste  
Foz do Iguaçu, Brasil  
fabiana.peres@unioeste.br

**Abstract**—A practice of physical exercises like calisthenics at home or outdoors has become quite common recently, mainly driven by the pandemic that occurred between 2020-2022 and its accessibility as a sport. However, many injuries occur due to the lack of a professional, who is usually only found in private gyms. Therefore, it is of great importance to use artificial intelligence technologies that can assist in posture during workouts, thus preventing possible injuries and ensuring the correct execution of exercises. There are various technologies available today that work with human pose estimation for individual recognition. OpenPose and MediaPipe are libraries that provide algorithms for human pose estimation that can use GPU for accelerating human pose recognition responses. Therefore, the aim of this study was to review research papers that used human pose recognition libraries in the context of physical activities.

**Keywords**—Calisthenics; Human Pose Estimation; Deep Learning.

**Resumo**—A prática de exercícios físicos da calistenia em casa ou ao ar livre vem sendo muito comum atualmente, motivada principalmente pela pandemia que ocorreu entre os anos de 2020-2022 e, por ser um esporte acessível. Porém, muitas lesões ocorrem pela falta de um profissional, que geralmente é encontrado somente em academias privadas. Com isso, é de grande importância utilizar tecnologias de inteligência artificial que tenham capacidade de auxiliar a postura durante os treinos, assim evitando possíveis lesões e garantindo a execução correta dos exercícios. Há hoje diversas tecnologias que trabalham com estimativa de pose humana para reconhecimento de indivíduos. O OpenPose e o MediaPipe são bibliotecas que dispõem de algoritmos de estimativa de pose humana que podem usar a GPU para a aceleração de respostas de reconhecimento da pose humana. Logo, o objetivo deste trabalho foi revisar trabalhos de pesquisa que utilizaram bibliotecas de reconhecimento de pose humana no contexto de atividades físicas.

**Palavras-chave**—Calistenia; Estimativa de Pose Humana; Aprendizagem Profunda.

## I. INTRODUÇÃO

O termo calistenia vem do grego *Kallistenés* que significa “cheio de vigor”, é uma prática esportiva que passou a ser conhecida no século XIX [1]. O esporte consiste em treinamento corporal com o próprio peso do corpo sem a necessidade de

aparelhos de academia, sendo versátil e acessível para a maioria. Existem hoje muitos aplicativos comerciais que auxiliam o usuário a realizar os treinos, mostrando variedades de exercícios e como realizar a execução correta, porém grande parte sendo pagos e sem funções de analisar a própria postura do usuário. Além disso, o reconhecimento de postura e movimento humano vem sendo de grande importância nos tempos atuais, por exemplo nas áreas de:

- Saúde: sistemas de análise de movimento de pacientes para tratamento remoto, sendo muito úteis principalmente para tratamentos fisioterápicos;
- Jogos: aplicações em realidade virtual utilizando óculos de realidade virtual;
- Reconhecimento de pessoas: sistemas de câmera de segurança para reconhecer indivíduos.

A tecnologia de inteligência artificial está presente nesses sistemas. São realizados cálculos matemáticos, análises e previsões de padrões. São necessários modelos de *machine learning* que necessitam de alto poder computacional. Esses modelos são simulações de neurônios humanos, que melhoram o desempenho do programa com a experiência adquirida em relação ao tempo com base em aprendizados. Isso é alcançado aplicando algoritmos que aprendem iterativamente a partir de dados de treinamento específicos do problema, o que permite que os computadores identifiquem padrões complexos sem serem explicitamente programados [2].

Neste contexto, este trabalho apresenta resultados parciais de uma pesquisa cujo objetivo final é desenvolver um aplicativo com capacidade de reconhecimento de pose para orientação do usuário em exercícios de calistenia. O resultado parcial apresentado compreende uma revisão da literatura. Para a revisão da literatura, foram buscados artigos relacionados utilizando a base de dados eletrônica do Google Acadêmico, considerado os seguintes termos na busca: calistenia ou calisthenics; *Pose Estimation* ou Estimativa de Pose; Exercícios ou *exercise*. Foram selecionados quatro artigos recentes e eles são explorados na

seção seguinte.

## II. REVISÃO DA LITERATURA

Para a revisão da literatura, foram considerados quatro trabalhos relacionados. Eles utilizam diferentes abordagens e métodos para estimar a pose humana.

No trabalho de Silva [3] foi utilizada a biblioteca OpenPose para identificar pontos do corpo humano. O autor emprega conceitos da obra do Homem Vitruviano de Leonardo da Vinci em seu trabalho. A obra de Leonardo da Vinci, ilustra a harmonia nas proporções, onde coloca um homem em uma estrutura geométrica formada por um círculo e um quadrado. O autor usou a relação entre a envergadura (braços abertos) e altura, que segundo Da Vinci tem o mesmo comprimento. Com a limitação da biblioteca OpenPose em fornecer os conjuntos de pontos, o autor dividiu o corpo formado por *keypoints* nas seguintes partes: cabeça, troncos e membros superiores e inferiores. O trabalho considerou uma precisão de 90% para que ocorresse o reconhecimento da pessoa. A figura 1 mostra o uso da aplicação.



Fig. 1. Reconhecimento de pessoas [3].

Já no trabalho de Pardillo e outros [4] eles desenvolveram um sistema para ajudar professores de educação física a auxiliar os alunos em meio à pandemia. O sistema conta repetições como também analisa se o exercício está sendo executado corretamente. A Figura 2 mostra um usuário executando agachamentos, utilizando o aplicativo [4].

Os autores utilizaram a biblioteca OpenCV para problemas de visão computacional e Mediapipe para a estimação de pose humana. O sistema gera pontuações dos alunos, como repetições e amplitude de movimento, e exporta esses dados para um arquivo Excel utilizando a biblioteca pandas, responsável por essa transmissão de dados. Os autores compararam a avaliação do sistema com a avaliação dos professores e ambas foram similares.

No trabalho de Santos [5], foi desenvolvido uma versão web do Virtualter, um jogo do tipo *exergame* que auxilia na



Fig. 2. Detecção de pose em agachamento [4].

reabilitação de idosos por meio de exercícios voltados para equilíbrio e mobilidade com realidade virtual. A versão anterior da aplicação utilizava a plataforma Unity, uma *engine* para desenvolvimento de jogos 2D e 3D, e também o acessório Kinect, que logo foi substituído por uma câmera monocular para que rodasse diretamente via *web*. O autor utilizou a linguagem de programação Javascript por ser muito usada em aplicações *web*, a Teachable, biblioteca desenvolvida pelo Google responsável pelas funcionalidades de *machine learning* para o processamento dos dados via imagens, vídeos e sons e a Posenet, que é uma biblioteca desenvolvida com o TensorFlow, responsável por detectar e estimar a pose de uma ou mais pessoas em tempo real. A figura 3 mostra o uso da aplicação para teste de subida e descida de degrau.



Fig. 3. Teste de subida e descida de degrau [5].

Um dos objetivos deste trabalho é que seja aplicado na área da saúde, com o intuito de engajar pacientes em seu processo de reabilitação para que não desanimem até a melhoria de suas funções físicas.

Por último, no trabalho de Chen e outros [6] os autores desenvolveram uma aplicação de software chamado *Pose Trainer* com o objetivo de ajudar as pessoas a executarem os exercícios da forma correta usando somente uma câmera. Utilizaram

para estimar pose a biblioteca OpenPose, que identifica um conjunto de vetores de *keypoints* no corpo humano a partir de uma imagem RGB ou um mapa de profundidade. Como as gravações do usuário podem ser distintas uma das outras, os comprimentos dos vetores são variados e para resolver este problema foi usado a técnica *Dynamic Time Warping* (DTW), que procura *keypoints* de uma segunda sequência que corresponde com à primeira sequência. Para a detecção de qualidade dos exercícios, foram utilizados modelos baseados em *machine learning* e em heurísticas, que são modelos mais eficientes em comparação aos modelos clássicos.

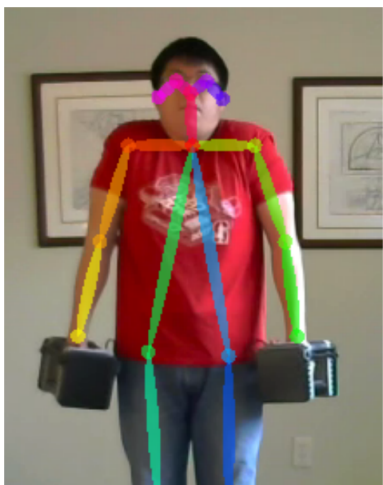


Fig. 4. Detecção de pose no exercício *Shoulder Shrug* [6].

Os parâmetros para detectar a postura correta do exercício foram baseados em poses e instruções de profissionais na área.

A revisão destes quatro trabalhos auxiliou a identificar os conceitos relevantes para esta pesquisa. Na próxima seção são apresentados estes conceitos, que definem o referencial teórico da pesquisa.

### III. REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir são apresentados conceitos importantes para o contexto deste trabalho.

#### A. Calistenia

A calistenia consiste em treinamento utilizando o peso corporal sem a necessidade de pesos extras ou aparelhos de academias. A prática promove força, equilíbrio e melhora a qualidade de vida do indivíduo através de movimentos corporais lineares que têm relações com a ginástica olímpica como mostrado na Figura 5, onde a imagem à esquerda representa o exercício estático na calistenia e a imagem à direita, na ginástica olímpica.



Fig. 5. Exercício estático *Full Planche* na calistenia [7] e ginástica olímpica [8].

#### B. Machine Learning

*Machine Learning* ou Aprendizado de Máquina é o processo de indução de uma hipótese a partir de experiências passadas [9]. Há 3 tipos de aprendizado de máquina: aprendizado supervisionado, aprendizado não supervisionado e aprendizado por reforço [10].

1) *Rede Neural Artificial*: redes neurais artificiais podem ser treinadas para muitos contextos e consistem em representações matemáticas de unidades de processamento conectados por neurônios artificiais onde cada conexão tem seu peso que é ajustado durante o processo. São organizados em camadas de entrada e saída; existem ainda camadas ocultas [11].

2) *Rede Neural Profunda*: diferente da Rede Neural Artificial, este modelo contém neurônios mais avançados podendo processar dados complexos como imagens e sons. Geralmente possui várias camadas ocultas, organizadas em arquiteturas de rede profundamente aninhadas [12].

3) *Deep Learning*: aprendizado que utiliza redes neurais profundas sendo útil para dados grandes e complexos sendo superior aos modelos artificiais. No entanto, para entrada de dados de baixa dimensão, especialmente em casos de disponibilidade limitada de dados de treinamento, o *Machine Learning* pode produzir resultados superiores [13].

#### C. Human Pose Estimation

*Human Pose Estimation* ou Estimção de Pose Humana é um problema geral em Visão Computacional, onde são detectados a posição e orientação do corpo humano. Isso normalmente significa detectar as localizações dos pontos-chave que descrevem o corpo humano ou membro [14].

#### D. OpenPose

O *OpenPose* é considerado o primeiro sistema em tempo real que detectou múltiplas pessoas em 2D. Ele detecta conjuntamente pontos de referência do corpo humano, pés, mãos e rosto, sendo um total de 135 pontos de referência em imagens individuais [15]. A Figura 6 mostra a arquitetura do *OpenPose*.

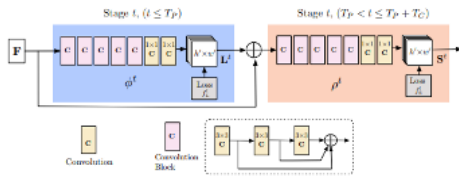


Fig. 6. Arquitetura da biblioteca OpenPose [15].

### E. OpenCV

OpenCV é uma biblioteca *open source* que fornece muitos algoritmos de visão computacional e inclui várias bibliotecas compartilhadas ou estáticas, como bibliotecas para processamento de imagens, análise de vídeo, detecção de objetos, etc [16].

### F. Mediapipe

O Mediapipe é uma plataforma *open source* desenvolvida pela Google que oferece um conjunto de bibliotecas e ferramentas para utilizar técnicas de inteligência artificial e *machine learning* em aplicações [17].

## IV. RESULTADOS

Nos estudos apresentados anteriormente percebe-se a utilização de inteligências artificiais e de várias bibliotecas como OpenPose, Mediapipe, OpenCV e Posenet ou acessórios como Kinect para estimação de pose. É compreensível a importância e necessidade de estimar pose, sendo utilizado na área da saúde para auxiliar na reabilitação de idosos por meio da avaliação dos exercícios, como também utilizado na área da educação para auxiliar professores de educação física a orientar alunos em meio à pandemia.

## V. DISCUSSÃO

Uma análise importante diante dos resultados é que apesar do uso do Kinect para estimação de pose, o mesmo foi substituído por uma câmera monocular e ambos estudos utilizaram somente bibliotecas de estimação de pose sem a necessidade de acessórios, logo percebe-se a preferência por bibliotecas *open source* ao invés de utilizar acessórios para estimação de pose.

## VI. CONCLUSÕES

Esta revisão da literatura evidenciou que a estimação de pose humana, apesar de ser desafiadora para implementação, pode ser uma ferramenta poderosa se construída corretamente com conhecimentos de programação e visão computacional, podendo ser uma grande aliada nas áreas de saúde, educação e outros. Com isso, conclui-se que é necessário estudar e aprofundar conhecimentos em estimação de pose para aplicar

o mesmo propósito de auxílio pra orientação em exercícios de calistenia.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o amor e apoio. Agradeço também aos meus orientadores, Profa. Dra. Fabiana Frata Furlan Peres e Prof. Dr. Claudio Roberto Marquette Mauricio, pelo grande apoio, paciência e acolhimento durante todo o desenvolvimento deste projeto.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. De Moraes Antunes-Correa, *Da beleza e vigor do corpo: breve historia da calistenia*, 2002.
- [2] C. M. Bishop, *Pattern recognition and machine learning*. Springer Verlag, 2006.
- [3] J. C. d. Silva, "Reconhecimento de indivíduos em vídeo utilizando estimativa de pose humana," 2020.
- [4] J. A. S. Pardillo, T. J. Bolabola, C. L. C. Sta. Romana, and J. M. D. Cando, "Computer-aided assessment system for calisthenics exercises," in *Proceedings of the 6th International Conference on Digital Technology in Education*, 2022, pp. 145–152.
- [5] P. A. M. Santos, "Métodos de captação de imagens e movimento em jogos e seus usos na área da saúde utilizando a aplicação virtualter," B.S. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2023.
- [6] S. Chen and R. R. Yang, "Pose trainer: correcting exercise posture using pose estimation," *arXiv preprint arXiv:2006.11718*, 2020.
- [7] M. Paruch. (acessado em 15 set. 2023) Planche – how to do a planche push ups. <https://caliathletics.com/knowledge/planche-the-ultimate-tutorial-and-step-by-step-progressions/>.
- [8] R. A. N. Z. Freitas. (acessado em 15 set. 2023) Disponível em: <https://olimpiadatododia.com.br/atletas/ginastica-artistica/arthur-zanetti-argolas-toquio-2020/>.
- [9] K. FACELI, A. C. LORENA, J. GAMA, and A. C. P. d. L. F. d. CARVALHO, *Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina*. LTC, 2010, no. ISBN:9788521618805.
- [10] M. I. Jordan and T. M. Mitchell, "Machine learning: Trends, perspectives, and prospects," *Science (New York, N.Y.)*, vol. 349, no. 6245, pp. 255–260, 2015.
- [11] C. C. Aggarwal, *Neural Networks and Deep Learning*. Springer, 2018, no. isbn:978-3-319-94463-0.
- [12] C. Janiesch, P. Zschech, and K. Heinrich, "Machine learning and deep learning," *Electronic Markets*, vol. 31, no. 3, p. 685–695, 2021.
- [13] Y. Zhang and C. Ling, "A strategy to apply machine learning to small datasets in materials science," *npj computational materials*, vol. 4, no. 1, p. 1–8, 2018.
- [14] V. Gupta. Deep learning based human pose estimation using opencv. <https://learnopencv.com/deep-learning-based-human-pose-estimation-using-opencv-cpp-python/>.
- [15] Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei, and Y. Sheikh, "Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields," in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 7291–7299.
- [16] OpenCV: Introdução. [Online]. Available: <https://docs.opencv.org/4.x/d1/dfb/intro.html>
- [17] G. Developers. (Data de Acesso) Guia das soluções mediapipe. [Online]. Available: <https://developers.google.com/mediapipe/solutions/guide>