

Análise e orientação de postura nos exercícios de calistenia usando estimativa de pose humana.

Marcos Oliveira de Sousa
Unioeste
Foz do Iguaçu, Brasil
marcos.sousa2@unioeste.br

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

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

Abstract—Calisthenics is a system of exercises that uses one’s own body weight for development. Due to its accessibility, there was an increase in the practice of these exercises during the pandemic. However, if performed incorrectly, it can cause injuries. With the advancement of technology and artificial intelligence, it is possible to use tools that estimate posture and correct it during exercise. This is done through libraries that use graphic processing to analyze human posture during physical activities, such as Mediapipe and Movenet. This work aims to review different applications of these libraries in research studies, seeking to analyze tools that, when used correctly, can help correct the user’s posture and thus prevent injuries.

Keywords—Calisthenics; Human Pose Estimation; Artificial Intelligence.

Resumo—A calistenia é um sistema de exercícios que utiliza o peso do próprio corpo para o seu desenvolvimento, e por ser uma prática acessível, durante o período pandêmico, houve um aumento na prática dos exercícios, no entanto, se mal executada pode causar lesões. No entanto, com o avanço da tecnologia e da inteligência artificial, é possível utilizar ferramentas que estimam a postura, e assim corrigi-la durante o exercício, com a aplicação de bibliotecas que, com o uso de processamento gráfico, analisam a pose humana durante atividades físicas, como é o caso do Mediapipe e do Movenet. Este trabalho tem como objetivo revisar diferentes aplicações dessas bibliotecas em trabalhos de pesquisa, buscando analisar ferramentas, que com o uso adequado, pode auxiliar na correção de postura do usuário e assim evitar lesões.

Palavras-chave—Calistenia; Estimativa de Pose Humana; Inteligência Artificial.

I. INTRODUÇÃO

A calistenia, do grego, "Kallistenés", "cheio de vigor", tem seu significado atribuído ao equilíbrio das qualidades físicas, mentais e espirituais. A calistenia é um sistema de exercícios físicos que dispensa aparatos manuais, realizada com o próprio peso, e se bem desenvolvida melhora a postura e pode garantir uma boa saúde [1]. Porém, se feita de maneira errada pode prejudicar o desempenho das atividades ou causar lesões.

Muitos aplicativos propõem soluções para o melhor desenvolvimento dos exercícios, porém a maioria deles sendo pagos e ineficientes, sem realmente apresentar um método que possa

analisar a postura humana entendendo a diferença de um corpo para o outro.

Na área da saúde, tecnologias de inteligência artificial são usadas para desenvolver ferramentas de diagnóstico, se baseando em algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) que sem a intervenção humana, conseguem desenvolver métodos por iterações [2].

Sendo assim, esse trabalho busca apresentar resultados de pesquisas, tendo como objetivo final o desenvolvimento de um aplicativo que analisa a postura do usuário durante um exercício de calistenia, e assim, com o uso de inteligência artificial, orientá-lo para corrigir a postura durante a prática de exercício, prevenindo possíveis lesões e melhorando o seu desempenho.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1) Calistenia

A calistenia é uma prática que envolve o peso do próprio corpo. Tem o objetivo de melhorar a qualidade de vida, aumentar a força física, melhorar a resistência, equilíbrio e contribui para o indivíduo ter uma melhor postura, e isso sem o uso de equipamentos auxiliares [1]. Na Figura abaixo, um exemplo de exercício de calistenia.



Fig. 1. Execução do exercício *Human Flag* [3].

2) *MediaPipe Pose LandMarker*

Permite detectar pontos de referência de corpos humanos em imagens ou vídeos, como visto abaixo na figura 4. Essa ferramenta usa modelos de *machine learning* gerando pontos de referência de posições do corpo nas imagens [4]. A Figura abaixo demonstra o uso do Medi-aPipe Pose em detecção de pontos-chave.



Fig. 2. Detecção de pontos chave usando o MediaPipe Pose [4].

3) *Estimativa de Pose Humana*

É uma tarefa de visão computacional que envolve detecção e estimativa da posição de várias partes do corpo analisadas em imagens ou vídeos. Durante a análise, são estimados pontos chave no corpo que verificam o movimento do indivíduo [5].

4) *Machine Learning*

Machine Learning (aprendizado de máquina) é a construção de programas que melhoram desempenho por meio dos resultados das tentativas passadas. As técnicas de aprendizagem de máquina são orientadas a dados, isto é, aprendem automaticamente a partir de grandes volumes de dados [6].

a) *Redes Neurais Artificiais*

São modelos matemáticos que se inspiram em estruturas neurais biológicas e tem a capacidade computação obtida através da aprendizagem [6].

b) *Redes Neurais Profundas*

Foram inspiradas pela sensibilidade local e orientação seletiva do cérebro. São projetadas para extrair características relevantes da entrada, em geral, deixam de ter estruturas totalmente conectadas, e cada neurônio passa a se conectar com um conjunto de neurônio da camada anterior.

5) *MoveNet*

Biblioteca de código aberto, desenvolvida pela Google, para estimação de pose humana em tempo real. Foi planejada para uso em dispositivos com recursos limitados de computação, como celulares e navegadores de internet

[7]. A Figura 3 demonstra a detecção de pontos, feito pelo MoveNet, durante um exercício.

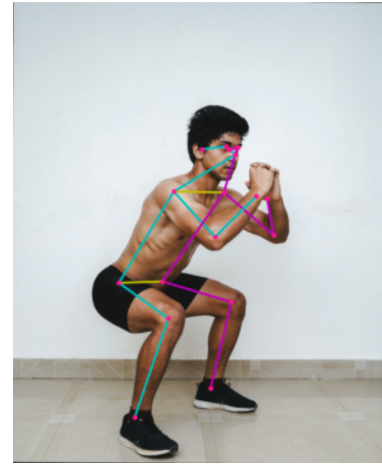


Fig. 3. Mapeamento de pontos durante um exercício MoveNet [7].

6) *MoCap*

Abreviação para captura de movimento, é o processo de registrar digitalmente e rastrear movimentos de objetos ou seres vivos. O sistema registra o movimento físico e transforma em um movimento digital [8]. Na Figura 4, à esquerda, uma pessoa usando um traje de captura de movimento, e na direita, o movimento lido digitalmente.

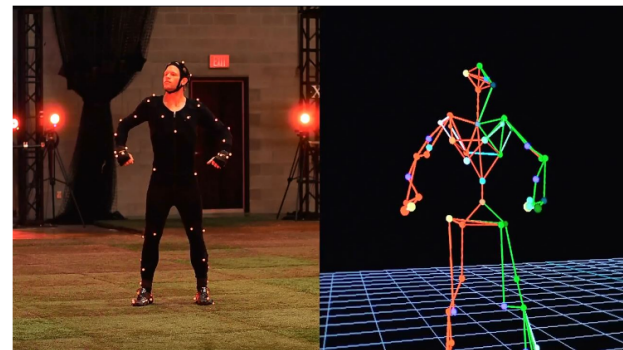


Fig. 4. Captura de movimento de uma pessoa usando tecnologia MoCap [9].

III. TRABALHOS CORRELATOS

Foram considerados quatro trabalhos. Dois deles usaram diferentes *Mediapipe Pose* e os outros dois *MoveNet*, no entanto, cada um deles com diferentes métodos.

O trabalho de Kim et al [10] utilizou a biblioteca MediaPipe Pose, foi desenvolvido para analisar e estimar um corpo bidimensional pelas coordenadas das articulações.

Um dos problemas encontrados foi em estimar poses 3D a partir de imagens 2D, levando a erros de profundidade e acabando por ignorar articulações que possam estar obstruídas.

O trabalho de Dill [11], utilizou o Mediapipe Pose para estimar a pose de indivíduos durante a realização de exercícios físicos, com objetivo de avaliar sua precisão para aplicação na fisioterapia. Foram selecionados 4 pessoas do sexo masculino em 5 diferentes exercícios físicos. Para avaliar a sua precisão, os resultados foram comparados com os dados de um sistema de captura de movimento (*MoCap*). A sincronização de dados foi realizada utilizando uma métrica de movimento baseada no deslocamento das juntas. Assim, os resultados indicaram que a precisão da estimativa de pose do Mediapipe altamente dependente do ângulo de visão da câmera e do exercício realizado. A precisão foi menor em ângulos desfavoráveis e em exercícios que causavam auto-occlusão.

O trabalho de Chaudhari [12] utilizou a biblioteca MoveNet com o objetivo de detectar poses de ioga para fornecer resultados em tempo real sobre a precisão da mesma. Foram coletadas imagens de alta qualidade de pessoas realizando exercícios de ioga. Abaixo, na Figura 5, foi feita a detecção dos 17 pontos-chave do MoveNet, durante um exercício de ioga.

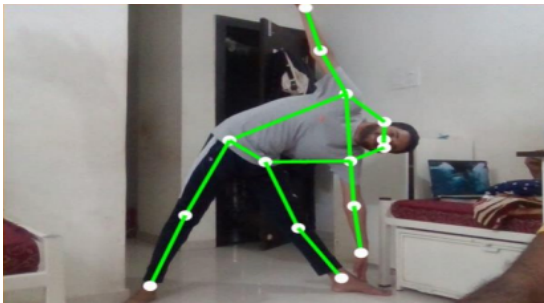


Fig. 5. Detecção dos 17 pontos-chaves MoveNet [12]

O modelo MoveNet gerou um conjunto de coordenadas de pontos-chave e os mapas de calor correspondentes. Os mapas de calor permitem com que o MoveNet preveja a localização dos pontos de referência, analisando a intensidade do pixel na imagem. Então, pôde-se observar que o sistema geralmente detecta a pose em tempo real, detectando corretamente 97% das poses presentes no conjunto de dados de teste.

O trabalho de Zhang [13] também utilizou a biblioteca MoveNet, mas com intuito de construir e treinar modelos de detecção de flexão.

A biblioteca apresenta duas variantes:

- MoveNet Thunder: oferece uma maior precisão dos pontos-chaves, faz o processamento de imagens de treinamento para extrair coordenadas dos pontos-chaves do corpo.

- MoveNet Lightning: Prioriza a velocidade de detecção, foi usado para inferência durante o teste de modelo em vídeos. Pôde-se perceber que o MoveNet Lightning obteve uma leitura mais rápida dos pontos-chaves. Abaixo, na Figura 2, o esqueleto de pontos-chave do MoveNet utilizado pelo autor.

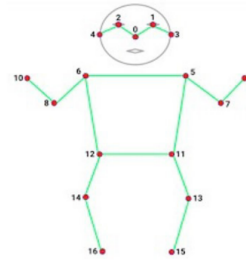


Fig. 6. Mapeamentos de pontos-chaves MoveNet [13].

Ângulos específicos, como formados por cotovelos e ombros são calculados para determinar a fase de cada flexão. A escolha do MoveNet pelo autor, se dá pela sua velocidade e desempenho na detecção de exercícios, principalmente em dispositivos móveis.

IV. RESULTADOS

Nos estudos apresentados, é possível constatar que, o uso de inteligência artificial para estimação de pose humana demonstra ter resultados significativos em cada uso aplicado. É de grande importância o uso da tecnologia para a correção de pose, visto que, pode auxiliar na área de saúde e no dia a dia do usuário.

Durante os testes, o MediaPipe demonstrou ser uma ferramenta que oferece uma boa precisão para detecção de poses 2D. Porém, a precisão é prejudicada em ângulos desfavoráveis ou quando havia auto-occlusão das articulações. Foi observado esse comportamento em movimentos de flexão. Por outro lado, o MoveNet apresentou uma melhor eficiência em tempo real, principalmente em dispositivos móveis. A variante MoveNet Lightning ofereceu uma detecção mais rápida, com uma ligeira perda de precisão se comparada ao MediaPipe. Já a variante MoveNet Thunder, obteve um bom equilíbrio entre precisão e velocidade, demonstrando ser adequada para aplicações que exigem respostas rápidas, como correções durante a prática de exercícios de calistenia. Na Figura 7, foi feita detecção dos pontos-chave com o MediaPipe Pose utilizando uma imagem com autoria do autor deste estudo em movimento de flexão.

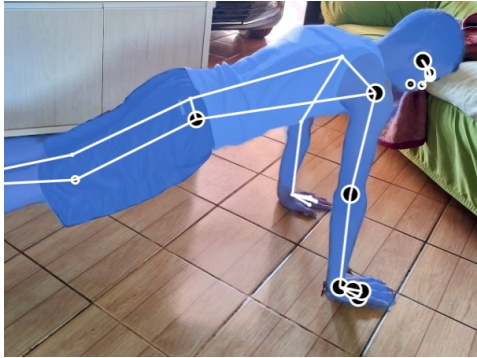


Fig. 7. Detecção de pontos de referência durante exercício de flexão [4].

V. DISCUSSÃO

Este trabalho analisou o uso de bibliotecas de estimativa de pose, como MediaPipe e MoveNet, para a correção de postura em exercícios de calistenia. Os testes mostraram que o MediaPipe oferece alta precisão em imagens bidimensionais, mas enfrenta desafios em detecção 3D, especialmente em ângulos desfavoráveis e auto-occlusão durante exercícios como flexões. Por outro lado, o MoveNet se destacou pela rapidez e eficiência, sendo mais adequado para aplicações móveis, apesar de perder ligeiramente em precisão em comparação ao MediaPipe. A aplicabilidade dessas bibliotecas em dispositivos móveis foi um fator decisivo para a escolha do MoveNet, devido à sua leveza e capacidade de processar poses em tempo real. Contudo, o trade-off entre velocidade e precisão é uma limitação importante que deverá ser abordada nas fases finais de implementação, dependendo do contexto de uso. Em termos de impacto, o uso dessas tecnologias em dispositivos acessíveis, como smartphones, representa uma oportunidade de democratizar o acesso a ferramentas de correção de postura, contribuindo para a saúde e o bem-estar de praticantes de calistenia que não possuem acesso a acompanhamento profissional.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou o uso das bibliotecas MediaPipe e MoveNet para a correção de postura em exercícios de calistenia, como flexões e agachamentos. A motivação surgiu do aumento da prática desse esporte durante a pandemia e da carência de acompanhamento profissional, o que pode resultar em lesões. O objetivo foi explorar soluções baseadas em inteligência artificial para monitorar a postura e tornar o exercício mais seguro e acessível. Os testes demonstraram que o MediaPipe oferece alta precisão, porém é limitado pela necessidade de ângulos específicos e enfrenta dificuldades com auto-occlusão. O MoveNet, por sua vez, destacou-se pela sua eficiência em dispositivos móveis, processando poses em tempo real com maior

rapidez, embora com uma leve perda de precisão em ângulos desfavoráveis. Conclui-se que a escolha da tecnologia depende de um equilíbrio entre precisão e velocidade, dependendo do contexto de uso. Sendo um projeto em andamento, os próximos passos serão focar em soluções para os problemas identificados, como a auto-occlusão e diferentes angulações, a análise de diferentes bibliotecas pode auxiliar a encontrar possíveis alternativas para solucionar esses problemas. As futuras implementações do sistema poderão contribuir para a prevenção de lesões e para a melhoria do desempenho de praticantes de calistenia, alinhando-se aos objetivos de promover a saúde e acessibilidade para um público mais amplo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas pelo apoio. Agradeço meus orientadores professor Claudio Roberto Marquette Mauricio e a professora Fabiana Frata Furlan Peres pelo apoio e assistência ao desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] L. d. M. A. Corrêa, "A beleza e vigor do corpo: Breve história da calistenia." *Monografia [Licenciatura em Educação Física]. Campinas, UNICAMP, 2002.*
- [2] V. A. Lepakshi, "Machine learning and deep learning based ai tools for development of diagnostic tools," in *Computational Approaches for Novel Therapeutic and Diagnostic Designing to Mitigate SARS-CoV-2 Infection*. Elsevier, 2022, pp. 399–420.
- [3] "Calistenia: o que é, benefícios e 4 exercícios para iniciantes - Ser Saúde - Diário do Nordeste — diariodonordeste.verdesmares.com.br," <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ser-saude/calistenia-o-que-e-beneficios-e-4-quatro-exercicios-para-iniciantes-1.3249397>, [Accessed 21-09-2024].
- [4] "Pose landmark detection guide — Google AI Edge — Google AI for Developers — ai.google.dev," https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker, [Accessed 20-09-2024].
- [5] H. Chen, R. Feng, S. Wu, H. Xu, F. Zhou, and Z. Liu, "2d human pose estimation: A survey," *Multimedia systems*, vol. 29, no. 5, pp. 3115–3138, 2023.
- [6] T. B. Ludermir, "Inteligência artificial e aprendizado de máquina: estado atual e tendências," *Estudos Avançados*, vol. 35, pp. 85–94, 2021.
- [7] "MoveNet: Ultra fast and accurate pose detection model. — TensorFlow Hub — tensorflow.org," <https://www.tensorflow.org/hub/tutorials/movenet>, [Accessed 20-09-2024].
- [8] M. Menolotto, D.-S. Komaris, S. Tedesco, B. O'Flynn, and M. Walsh, "Motion capture technology in industrial applications: A systematic review," *Sensors*, vol. 20, no. 19, p. 5687, 2020.
- [9] "Motion capture — fab.cba.mit.edu," https://fab.cba.mit.edu/classes/865.21/topics/scanning/05_mocap.html, [Accessed 21-09-2024].
- [10] J.-W. Kim, J.-Y. Choi, E.-J. Ha, and J.-H. Choi, "Human pose estimation using mediapipe pose and optimization method based on a humanoid model," *Applied sciences*, vol. 13, no. 4, p. 2700, 2023.
- [11] S. Dill, A. Rösch, M. Rohr, G. Güney, L. De Witte, E. Schwartz, and C. Hoog Antink, "Accuracy evaluation of 3d pose estimation with mediapipe pose for physical exercises," in *Current Directions in Biomedical Engineering*, vol. 9, no. 1. De Gruyter, 2023, pp. 563–566.
- [12] A. K. Chaudhari, P. Pol, S. Kudrarka, A. Kulkarni, R. Kulkarni, and R. Metekar, "Yoga pose detection using movenet architecture."
- [13] X. Zhang, S. Z. Han, and K. Y. Lim, "Designing and prototyping of ai-based real-time mobile detectors for calisthenic push-up exercise," *Procedia Computer Science*, vol. 239, pp. 445–452, 2024.