

Tecnologia na Avaliação Ergonômica do Trabalho: inovação na análise de posturas laborais

Technology in Ergonomic Work Assessment: Innovation in Analysis of Work Postures.

Ivana Márcia Oliveira Maia; Instituto Federal do Maranhão; IFMA
Caio Eduardo Falcão Matos; Universidade Federal do Maranhão; UFMA
Alan de Carvalho Araújo; Universidade Federal do Maranhão; UFMA
Adriana Sabatini; Federação das Indústrias do Estado do MA; SESI FIEMA
Beneilton Martins Leite; Universidade Federal do Maranhão; UFMA

Resumo

Uma das principais preocupações dos profissionais de saúde e segurança do trabalho é a postura do trabalhador durante a execução de tarefas laborais, pois pode causar desconforto e estresse postural, além de lesões musculoesqueléticas. A avaliação das posturas durante a execução de tarefas reais em um ambiente de trabalho industrial é um desafio, pois muitas vezes interfere no processo produtivo e pode não ser precisa o suficiente. O software apresentado neste artigo representa uma inovadora contribuição para a área de segurança e saúde do trabalho, pois permite a realização da AET com foco nas posturas do trabalhador de forma não intrusiva e precisa, utilizando tecnologias computacionais como câmeras de profundidade para realizar a análise da postura do trabalhador sem interferir no ambiente laboral. Para tanto, o software permite a associação das características das técnicas observacionais às técnicas que utilizam instrumentos, proporcionando uma avaliação efetiva da postura do trabalhador, através do método OWAS que é um dos principais métodos utilizados para avaliar as posturas do trabalhador, viabilizando a identificação das posturas de trabalho que podem causar desconforto e estresse postural.

Palavras-chave: posturas; OWAS; câmera de profundidade; avaliação ergonômica.

Abstract

One of the main concerns of health and safety professionals is the posture of workers during work tasks, as it can cause discomfort, postural stress, and musculoskeletal injuries. Evaluating postures during the execution of real tasks in an industrial work environment is challenging as it can often interfere with the production process and may not be precise enough. The software presented in this article represents an important and innovative contribution to the field of occupational health and safety, as it allows for non-intrusive and precise AET focusing on the worker's postures, using computer technologies such as depth cameras to analyze the worker's posture without interfering with the work environment. The software allows for the association of characteristics of observational techniques with instrument-based techniques, providing effective evaluation of the worker's posture through the OWAS method, one of the main methods used to assess worker postures, enabling the identification of work postures that may cause discomfort and postural stress.

Keywords: postures; OWAS; depth camera; ergonomic evaluation.

1. Introdução

As consequências negativas para a saúde dos trabalhadores são decorrentes das condições a que são submetidos no desempenho de suas tarefas. Nesse contexto, a ergonomia atua na interface entre o ambiente de trabalho e o trabalhador, adaptando as condições de trabalho às suas capacidades e limitações.

A premissa fundamental da ergonomia é a adaptação do trabalho às condições do ser humano, como afirmam Lida e Buarque (2016). O objetivo é que o trabalhador possa realizar suas atividades sem sofrimento físico ou mental, o que contribui para que alcance sua máxima produtividade como trabalhador e cidadão. Portanto, a ergonomia é uma ciência que busca garantir a harmonia entre o trabalho e o bem-estar do trabalhador, promovendo um ambiente laboral saudável e produtivo.

Mesmo que o trabalhador utilize equipamentos de segurança, tenha conhecimento e siga as normas de higiene e segurança no trabalho, ele ainda pode estar exposto a riscos ergonômicos se adotar posturas inadequadas durante a execução de suas tarefas. A postura é uma atividade individual que depende das capacidades, habilidades, vontades e, principalmente, da natureza da tarefa que está sendo executada (IIDA e BUARQUE, 2016).

De acordo com Kee e Karwowski (2007), as técnicas utilizadas para mensurar a quantidade de desconforto e estresse postural decorrentes de diferentes posturas do corpo humano podem ser observacionais ou baseadas em instrumentos. Nas técnicas observacionais, o desvio angular de um segmento do corpo em relação à postura neutra é determinado através da percepção visual. Já nas técnicas baseadas em instrumentos, é feito um registro contínuo da postura corporal por meio de dispositivos colocados no corpo do trabalhador.

As técnicas observacionais são amplamente utilizadas na indústria devido ao baixo custo, facilidade de uso e por não interferirem no processo de trabalho (Genaidy, 1993). Entre essas técnicas, estão inclusas OWAS (Karhu, 1977), TRAC (Van Der Beek, 1992), PATH (Buccholz, 1996), RULA (McAtamney, 1993), REBA (Hignett, 2000), LUBA (Kee, 2001), PLAS (Chung, 2002), entre outras, que foram desenvolvidas com diferentes objetivos e aplicadas em diferentes ambientes de trabalho.

O principal desafio no desenvolvimento de metodologias baseadas em técnicas observacionais é minimizar a interferência no processo produtivo, considerando a instrumentação do trabalhador e o custo da pesquisa.

O software apresentado neste projeto baseia-se nas metodologias computacionais comentadas por Maia (2021) para o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas à atenção à saúde humana. O objetivo deste trabalho é discutir a utilização de um software que, utilizando computadores e câmeras de profundidade, permite a realização de Avaliação Ergonômica do Trabalho (AET) com enfoque nas posturas do trabalhador. Com este software é possível associar as características das técnicas observacionais às técnicas que utilizam instrumentos, proporcionando uma avaliação efetiva da postura do trabalhador, sem interferir no ambiente laboral. Assim, este trabalho se concentra no estudo, implementação e aplicação de ferramentas de AET, com foco na metodologia OWAS, para avaliar tarefas reais em um ambiente de trabalho industrial.

2. Referencial teórico

O trabalho, em sua origem, está associado a ideias de esforço e sofrimento. Segundo Xavier (2006), o termo vem do latim popular tripaliare, que significa tortura com o tripalium, denominação de um instrumento de tortura. Esse histórico atribui ao trabalho uma conotação de martírio, envolvendo tanto o sofrer quanto o fazer sofrer. No entanto, é necessário dissociar a relação com sofrimento, visto que o trabalho é uma atividade inerente à condição humana que gera produção.

Para adaptar o trabalho aos seres humanos, é essencial ter o máximo conhecimento possível sobre eles. De acordo com Rio e Pires (2001), é recomendável realizar adaptações no trabalho para evitar desgaste desnecessário. Contudo, apenas evitar o desgaste não é suficiente, é fundamental desenvolver políticas organizacionais que levem ao prazer no trabalho, já que trabalhadores satisfeitos produzem mais com segurança e menos estresse.

O estresse no trabalho é definido como a discrepância entre as condições do trabalho e as características individuais dos trabalhadores. Baker e Karasek (2000) afirmam que isso pode levar a respostas físicas e emocionais prejudiciais quando as exigências do trabalho estão em desequilíbrio com as capacidades, recursos ou necessidades do trabalhador. As condições de trabalho abrangem todos os aspectos que podem influenciar a produção, indo além dos postos de trabalho ou aspectos físicos do ambiente, e incluindo as interações do homem com sua tarefa.

A ergonomia estuda maneiras de otimizar a execução das tarefas pelos trabalhadores, visando melhorar as condições de trabalho.

2.1 Análise ergonômica

A ergonomia não se limita apenas a analisar os aspectos físicos do trabalho, apesar de esses serem frequentemente os mais abordados pela legislação e pelos empresários que priorizam a antropometria e a biomecânica como as principais áreas de estudo para garantir o bem-estar do trabalhador e a produtividade.

A abordagem ergonômica mais adequada, de acordo com Rio e Pires (2001), não deve começar com a análise dos componentes do posto de trabalho, mas sim com o estudo das características anatômicas e fisiológicas do corpo humano. Essa visão é relevante porque a saúde do trabalhador é fundamental para o desenvolvimento, desempenho e produtividade ideais, basais para maximizar a produtividade.

2.2 Análise Ergonômica do Trabalho

Para Lida e Buarque (2016), a ergonomia é uma área de conhecimento multidisciplinar que busca compreender as interações entre o ser humano e o seu ambiente de trabalho. A partir de diferentes perspectivas, como a ergonomia de concepção e a ergonomia de intervenção, é possível desenvolver soluções que visam promover o bem-estar, a saúde e a eficiência do trabalhador.

No âmbito da intervenção ergonômica, Vital (2001) enfatiza que é essencial identificar os pontos críticos do ambiente de trabalho para, a partir disso, implementar medidas que promovam a melhoria das condições de trabalho. Embora seja inviável realizar uma Análise Ergonômica do Trabalho (AET) para todo um complexo industrial de grande porte, é possível trabalhar caso a caso, priorizando os pontos problemáticos que apresentam maior impacto na saúde e produtividade dos trabalhadores. Dessa forma, a intervenção ergonômica pode trazer benefícios significativos

tanto para os trabalhadores quanto para as empresas, contribuindo para a promoção de ambientes de trabalho mais saudáveis, seguros e eficientes.

2.3 Métodos de AET

Os procedimentos selecionados para a pesquisa proposta incluem o sistema OWAS, criado por Karhu, Kansu e Kuorinka em 1977, conforme apresentado por Lida e Buarque (2016), e o método REBA, desenvolvido por Hignett e McAtamney em 2000, como uma evolução do RULA, também discutido pelos autores. Embora tenham sido desenvolvidos há algum tempo, esses métodos continuam sendo empregados com confiabilidade nas Avaliações Ergonômicas do Trabalho (AETs) realizadas atualmente.

O Ovako Working Posture Analysing System (OWAS) é um sistema prático de registro que permite a análise dos dados posturais com objetivos claros. Primeiramente, catalogar as posturas combinadas entre as costas, braços, pernas e forças exercidas, determinando o efeito resultante sobre o sistema músculo esquelético. Em segundo lugar, examinar o tempo relativo gasto em uma postura específica para cada região corporal e determinar o efeito resultante sobre o sistema músculo esquelético (GUIMARÃES E PORTICH, 2002). Os dados podem ser obtidos por observação direta ou indireta (por meio de vídeo ou registro fotográfico), permitindo a análise através do conhecimento do método pelo pesquisador ou usando softwares específicos.

De acordo com Lida e Buarque (2016), o Método OWAS é baseado em 72 posturas típicas que resultam de diferentes combinações das posições do dorso (4 posições típicas), braços (3 posições típicas) e pernas (7 posições típicas). Essas posturas são classificadas em quatro categorias: Classe 1 - Postura normal, que dispensa cuidados, exceto em casos excepcionais; Classe 2 - Postura que deve ser verificada durante a próxima revisão rotineira dos métodos de trabalho; Classe 3 - Postura que deve merecer atenção em curto prazo; Classe 4 - Postura que deve merecer atenção imediata.

Para aplicar o sistema, é necessário observar visualmente e registrar as posturas do trabalhador e confrontá-las com as posturas da tabela do método, atribuindo-lhes um código que será classificado de acordo com as categorias mencionadas acima. É importante destacar que, embora o método tenha sido desenvolvido em 1977, ainda é utilizado com segurança nas AETs atuais.

O método REBA, desenvolvido por Hignett e McAtamney em 2000, apresenta protocolo criado para ser utilizado em pesquisas ergonômicas em locais de trabalho em todo o corpo de trabalhadores. A sua aplicação permite avaliar as posturas dos trabalhadores de forma precisa, identificando os riscos ergonômicos presentes em cada posição adotada pelo trabalhador. O método REBA surgiu como uma atualização do método RULA, aprimorando a sua aplicação na avaliação ergonômica de posturas em todo o corpo. O protocolo é aplicável a todas as posturas identificadas visualmente como importantes de serem avaliadas, permitindo a identificação de riscos ergonômicos específicos associados a cada postura.

A avaliação do método REBA enfatiza os membros superiores e é realizada a partir da análise dos dois lados do corpo do trabalhador, permitindo uma análise completa e detalhada da postura adotada durante a realização das tarefas. A aplicação do método REBA é essencial para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores, identificando os riscos ergonômicos presentes em cada atividade realizada e possibilitando a adoção de medidas preventivas para minimizar os riscos identificados.

2.4 Biomecânica

Na análise dos princípios biomecânicos, as leis físicas da mecânica são aplicadas ao corpo humano para verificar as tensões musculares e articulares durante um movimento ou postura. Dul e Weerdmeester (2012) afirmam que para manter uma boa postura ou realizar um movimento, as articulações devem ser mantidas o mais próximo possível de sua posição neutra.

Uma postura inadequada está presente em todas as condições patológicas dolorosas decorrentes de lesões, uso excessivo, uso impróprio e envelhecimento (Cailliet, 1999). A postura é uma atitude e não uma tarefa, e essa diferença é a característica específica da postura.

A postura é a posição assumida pelo ser humano ao sentar ou ficar em pé, que afeta todos os aspectos musculoesqueléticos (Cailliet, 1999). O desenvolvimento e as mudanças na postura podem levar a doenças, traumas e fatores de alteração psicológica. A postura correta proporciona conforto e bem-estar. Estudos como os de Dul e Weerdmeester (2012) e Lida e Buarque (2016) destacam que a postura correta é aquela que não requer esforço, é esteticamente correta e indolor. Alguns hábitos posturais inadequados são resultado das atividades realizadas pelo ser humano e podem se tornar habituais com o tempo.

A movimentação é essencial para a saúde do sistema musculoesquelético, pois permite a alternância do uso de articulações e segmentos musculoligamentares. Segundo Dull e Weerdmeester (2012), para avaliar a biomecânica da tarefa e minimizar os efeitos prejudiciais, é importante observar e registrar a postura-base adotada pelo trabalhador em função da atividade exercida. A postura-base é determinada pelas exigências das atividades e dela derivam as posturas secundárias adotadas, consciente ou inconscientemente para variar as exigências musculoesqueléticas, por meio da flexibilidade postural. Uma boa postura é aquela que mantém a configuração estática natural da coluna, respeitando suas curvaturas originais e sem exigir esforço. Para a ergonomia, a postura e o movimento são de grande importância, são determinados tanto no cotidiano como na execução do trabalho pela atividade em função da tarefa e pelo posto de trabalho.

2.5 Câmeras de profundidade

As câmeras de profundidade são uma tecnologia óptica recente, com elas, é possível identificar o corpo humano e seus movimentos sem a necessidade de marcadores. A câmera monitora as características da superfície ou componentes estruturais do corpo e, com outras técnicas computacionais, consegue inferir os movimentos. Esses sistemas são conhecidos como MoCap "puros" e têm baixo custo e mobilidade em comparação com outras tecnologias ópticas de MoCap. Embora tenham sido desenvolvidas para videogames, logo ganharam a atenção da comunidade acadêmica e profissional.

A câmera é composta por uma fonte de luz infravermelha, uma câmera colorida e um sensor de profundidade, que captura a distância percorrida pela luz infravermelha para determinar a profundidade dos pontos. A taxa de geração de frames pode chegar a 30 por segundo, e a câmera pode capturar movimentos de atores a uma distância entre 0,8 e 4 metros, mas os limites práticos recomendados são de 1,2 a 3,5 metros. Os dados capturados pela câmera são representados a cada frame, com uma imagem de vídeo e outra de profundidade. Neste trabalho, foi usado o ARKit para capturar as posições relativas das partes do corpo do trabalhador ao realizar suas atividades laborais, gerando um modelo articulado do corpo humano em coordenadas tridimensionais.

3. Metodologia

A metodologia de pesquisa utilizada neste projeto envolve uma pesquisa aplicada com abordagem prática, com objetivo de desenvolver e validar uma ferramenta para aplicação prática na análise ergonômica de tarefas em ambientes de trabalho. Além disso, o uso de metodologia já estabelecida (OWAS) também sugere que a pesquisa se baseia em conhecimentos já existentes na área da ergonomia.

A aquisição de imagens é realizada por meio de câmeras de profundidade, tanto em ambientes de trabalho reais como em laboratório, para a validação do software. A classificação de posturas é feita por meio de módulos do software desenvolvidos de acordo com a metodologia OWAS. Para sua validação, estão sendo realizados experimentos comparando as classificações e análises obtidas pelo sistema com as de uma equipe de especialistas em ergonomia. Assim, a metodologia utilizada neste projeto é orientada pela prática, com a utilização de diversas técnicas e ferramentas para o desenvolvimento e validação de um software para análise ergonômica de tarefas.

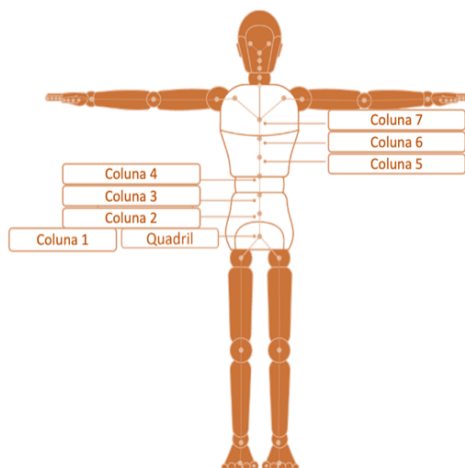
O projeto está dividido em etapas, que envolvem desde a aquisição de imagens até o treinamento de especialistas, adotando os seguintes procedimentos:

- Levantamento de Requisitos e Especificação do Software: Utilização de técnicas de engenharia de software para definir os requisitos e especificações do sistema, projetando sua arquitetura e desenvolvimento;
- Aquisição das Imagens: Utilização de câmeras de profundidade para capturar vídeos em ambientes de trabalho reais e em laboratório, a fim de validar o software desenvolvido;
- Classificação de Posturas: Desenvolvimento de módulos do software para classificar a postura do trabalhador capturado nos vídeos de acordo com a metodologia OWAS;
- Análise da Tarefa: Desenvolvimento de módulos para realizar a análise ergonômica da tarefa, pela análise usando o método OWAS;
- Análise e Verificação dos Resultados: Realização de experimentos de validação dos métodos desenvolvidos, comparando as classificações e análises obtidas pelo sistema com as de uma equipe de especialistas em ergonomia;
- Treinamento de Especialistas: Etapa final do projeto, na qual é realizado um treinamento com profissionais da área de ergonomia sobre os métodos de avaliação ergonômica do trabalho e o uso da ferramenta desenvolvida.

4. Resultados e Discussões

Neste estudo, utilizou-se o ARKit para capturar as posições relativas das partes do corpo do trabalhador durante a execução de suas atividades laborais. A partir das imagens de profundidade e vídeo, foi gerado um modelo articulado em 3D do corpo humano com um sistema de coordenadas tridimensional.

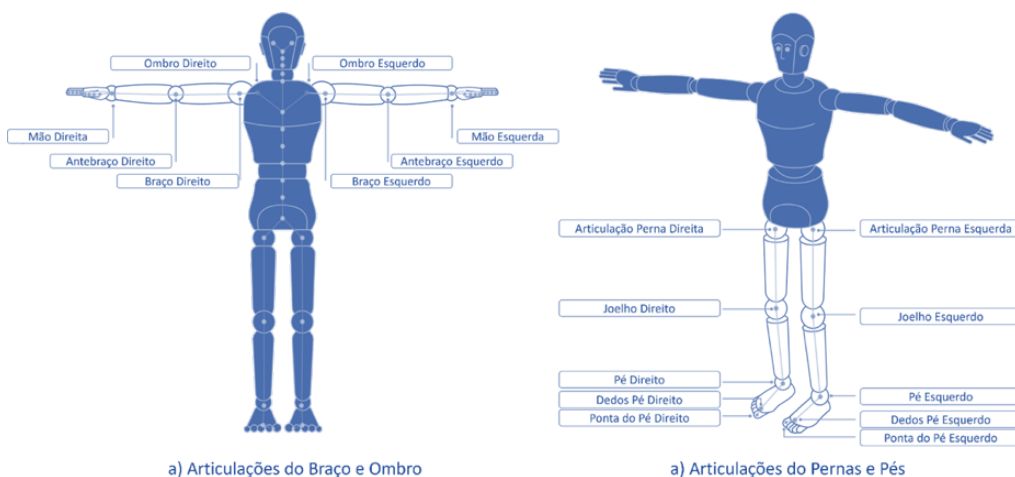
Figura 1 - Modelo articulado do corpo humano com sistema tridimensional de coordenadas.



Fonte: Arquivo dos autores.

O modelo articulado inclui um conjunto de 29 juntas do corpo humano, abrangendo a coluna, quadril (Figura 1), cabeça e pescoço (Figura 2), membros superiores e inferiores (Figura 3). Cada junta é representada por um ponto $P(X,Y,Z)$ no espaço geométrico do esqueleto.

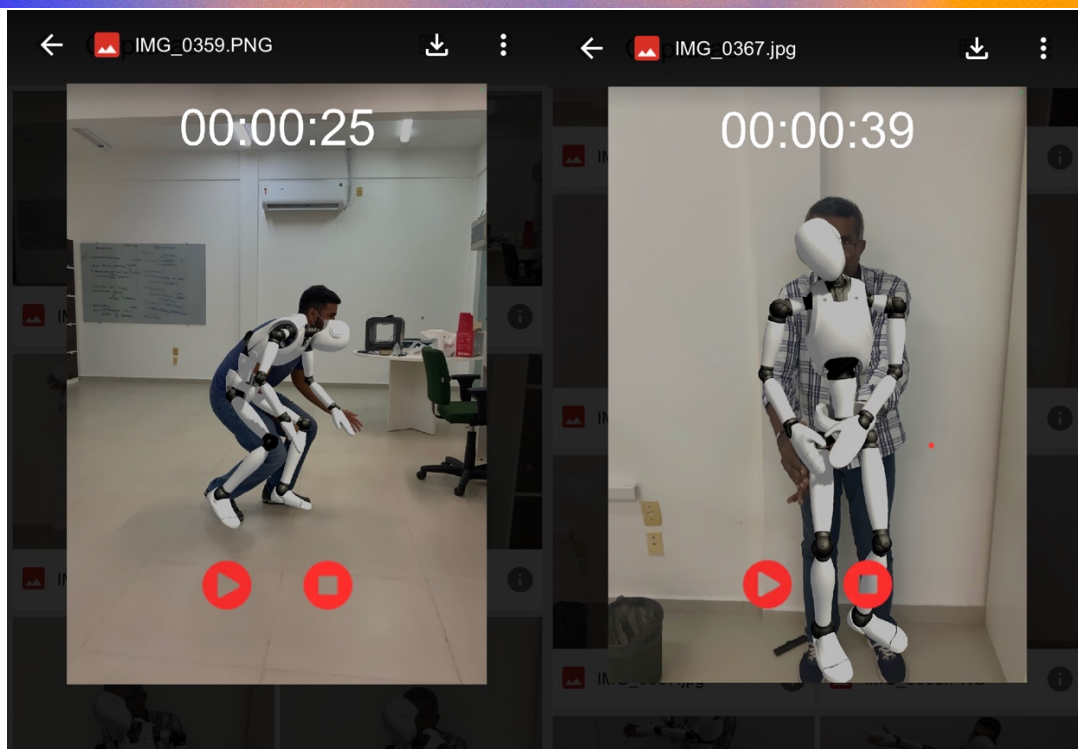
**Figura 2 - modelo articulado do corpo humano com sistema de coordenadas tridimensional –
Detalhe dos pontos situados nos membros superiores e inferiores.**



Fonte: Arquivo dos autores.

Os experimentos realizados nesta etapa proporcionaram uma visão abrangente da captura em tempo real, conforme ilustrado na figura 4. Por meio desses experimentos, o modelo 3D em realidade aumentada (avatar), mostrou-se eficaz na representação das posturas através das articulações identificadas durante a execução da atividade laboral.

Figura 4 – Captura em visualização frontal – Interface do aplicativo.



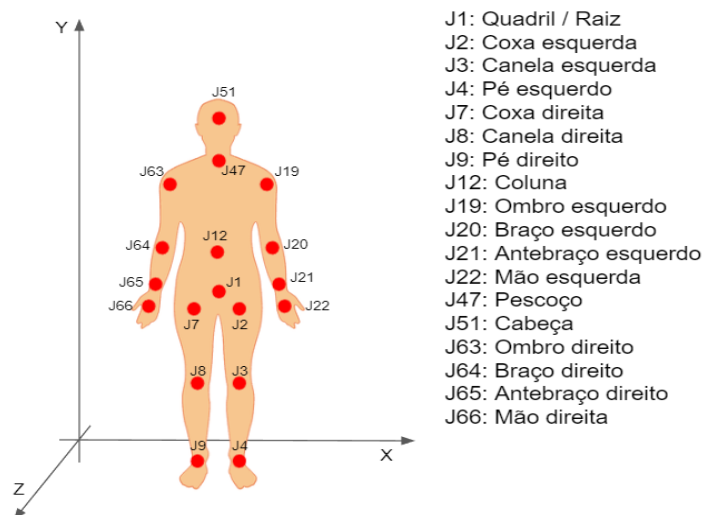
Fonte: Arquivo dos autores.

Os resultados preliminares demonstraram a captura com uma precisão significativa, considerando que o método OWAS não considera a angulação da cabeça, na análise. Dessa forma, é possível afirmar que o modelo articulado gerado pelo software proporcionou uma representação fiel da postura e movimentação das juntas do corpo humano, permitindo uma avaliação precisa da postura do trabalhador durante a execução de tarefas laborais.

Sistema de Inferência

Essa camada tem como objetivo receber os dados coletados na etapa anterior e desenvolver uma análise ergonômica semiautomática para avaliar as posturas adotadas durante as atividades laborais, utilizando o método OWAS. Para tanto, foi aplicado o padrão de projeto de software denominado MVC (Modelo-Visualização e Controle) para criar um sistema web para comunicação e avaliação dos dados gerados pela captura. O módulo de cálculo postural desenvolvido nesta etapa tem a função de avaliar as articulações/juntas previamente capturadas. O cálculo das posturas é realizado pelo módulo de inferência do sistema, que considera cada uma das 18 principais juntas representadas por um ponto $P = (x, y, z)$ (Fig. 5).

Figura 5 - Juntas do corpo utilizadas para inferência.



Fonte: Arquivo dos autores.

Assim, são analisadas as posições dos braços, pernas e tronco, onde os braços podem estar em elevação ou abaixamento, as pernas podem estar flexionadas, estendidas, elevadas ou abaixadas e o tronco pode estar em posição ereta ou flexionada.

5. Conclusões

A Avaliação Ergonômica do Trabalho é de extrema importância, uma vez que a natureza da pesquisa pode ser aplicada em diversos ambientes de trabalho, incluindo os industriais e setores produtivos em geral. Através da análise do comportamento postural do trabalhador durante suas tarefas, é possível identificar e corrigir problemas reais no ambiente de trabalho, melhorando a qualidade de vida do trabalhador e, conseqüentemente, o desempenho da organização como um todo.

A metodologia proposta para a Avaliação Ergonômica do Trabalho (AET) com uso de ARKIT é uma abordagem inovadora que permite a associação de características das técnicas observacionais às técnicas com uso de instrumentos, sem interferir no ambiente laboral durante a coleta de informações. Essa metodologia é especialmente relevante para a promoção da saúde e bem-estar do trabalhador, contribuindo para a prevenção de doenças ocupacionais e aprimorando as ações de atenção à saúde no ambiente de trabalho.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos à CAPES e CNPQ, pelo apoio a pesquisa e à AGEUFMA pelo incentivo e suporte à sua realização.

Referências Bibliográficas

ARKit: **Capturing Body Motion in 3D**. Available online:

https://developer.apple.com/documentation/arkit/content_anchors/capturing_body_motion_in_3d (acessado em 30 de agosto de 2022).

BAKER, D. B.; KARASEK, R. A. (2000). Stress. In: Levy, B. S.; Wegman, D. H., ed. **Occupational health: recognizing and preventing work related disease and injury**. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, p. 419 – 436.

CAILLIET, R. **Dor, Mecanismos e tratamento**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul. 1999.

DUL, Jan, WEERDMEESTER, Bernard. **Ergonomia Prática**, 3a Ed, São Paulo: Blucher, 2012.

IIDA, Itiro; BUARQUE, Lia. **Ergonomia Projeto e Produção**, 3ª Ed, São Paulo: Blucher, 2016.

GUIMARÃES, L. B. M.; PORTICH, P. **Análise Postural da Carga de Trabalho nas**

Centrais de Armação Carpintaria de um Canteiro de Obras. Anais ABERGO. Recife: 2002.

MAIA, I. M. O. ; SILVA, Y. S. ; LEAO, K. V. ; PAIVA, A. C. . **Uso de imagens de profundidade na biomecânica**. In: Barbosa, Frederico Celestino. (Org.). Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 1ed. Piracanjuba-GO: Editora Conhecimento Livre, 2021, v. 1, p. 126-145.

OPENPOSE: **Real-Time Multi-Person Keypoint Detection Library for Body, Face, Hands, and Foot Estimation**. Available online: <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose> (acessado em 30 de agosto de 2022).

PUH, U.; Hoehlein, B.; Deutsch, J.E. **Validity and Reliability of the Kinect for Assessment of Standardized Transitional Movements and Balance**. Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am. 2019, 30, 399–422.

RIO R.P; PIRES, L. **Ergonomia: fundamentos da prática ergonômica**. São Paulo: LTR, 2001.

SCHULZ, Adriana. **Motion capture-technical report**. Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada, May, 2010.

SPRINGER, S.; SELIGMANN, G.Y. **Validity of the Kinect for Gait Assessment: A Focused Review**. Sensors 2016, 16, 194.

VIDAL, M. **Introdução à ergonomia**. Rio de Janeiro: Fundação COPPETEC. UFRJ, 2001.

VISION: Detecting Human Body Poses in Images. Available online:

https://developer.apple.com/documentation/vision/detecting_human_body_poses_in_images
(acessado em 30 de agosto de 2022).

TENSORFLOW POSE ESTIMATE. Available online:

https://www.tensorflow.org/lite/examples/pose_estimation/overview (accessed on 26 January 2022).