

Pedro Vinicius Almeida de Freitas

Avaliação ergonômica utilizando o projeto Tango

São Luís - MA

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Freitas, Pedro Vinicius Almeida de.

Avaliação ergonômica utilizando o projeto Tango / Pedro Vinicius Almeida de Freitas. - 2018.

40 f.

Coorientador(a): Anselmo Cardoso de Paiva.

Orientador(a): Giovanni Lucca França da Silva.

Monografia (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2018.

1. Avaliação ergonômica. 2. Método OWAS. 3. Projeto Tango. 4. Realidade aumentada. I. Paiva, Anselmo Cardoso de. II. Silva, Giovanni Lucca França da. III. Título.

Pedro Vinicius Almeida de Freitas

Avaliação ergonômica utilizando o projeto Tango

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Me. Giovanni Lucca França da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Anselmo Cardoso de Paiva

São Luís - MA

2018

Pedro Vinicius Almeida de Freitas

Avaliação ergonômica utilizando o projeto Tango

Monografia apresentada ao curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel em Ciência da Computação.

Trabalho aprovado em 19 de dezembro de 2018 São Luís - MA, 2018:

Giovanni Lucca F. Silva

Prof. Me. Giovanni Lucca França da Silva
Orientador
Universidade Federal do Maranhão

Aselmo Cardoso de Paiva
Prof. Dr. Aselmo Cardoso de Paiva
Coorientador
Universidade Federal do Maranhão

Carlos de Salles Soares Neto

Prof. Dr. Carlos de Salles Soares Neto
Examinador
Universidade Federal do Maranhão

Caio Eduardo Falcão Matos

Prof. Me. Caio Eduardo Falcão Matos
Examinador
Universidade Federal do Maranhão

São Luís - MA

2018

À minha família e meus amigos.

Agradecimentos

Aos meus pais e meus irmãos por sempre terem me incentivado e me apoiado em tudo, por sua paciência, por suas repreensões e ensinamentos que fizeram de mim o que sou hoje.

A todos os meus amigos e colegas que conheci na ufma e que me proporcionaram boas lembranças que guardarei pro resto da vida.

Ao meu orientador, Giovanni, pela sua dedicação mesmo que em tão pouco tempo.

Aos professores Anselmo, Ari, Dallyson, Caio, Geraldo, Greiciane, Jadevilson, Salles, Simara e todos os outros professores que fizeram parte dessa jornada acadêmica.

A Anderson, por sempre tentar me motivar nos fins de período e encontrar as mais soluções mais simples quase sempre.

A Carlos, por compartilhar das tristezas e esperanças comigo (e memes).

A Paulo, por ser a minha referência de aluno em qualquer assunto acadêmico.

A Robert por me dar carona todo dia mesmo se irritando comigo, e obrigado pelos conselhos e histórias.

A Ylderlan, por seu companheirismo sempre, por estar sempre animado e me contagiar, e por seu exemplo de esforço sempre.

A todos os meus amigos do codebuilders por me acompanharem nessa odisséia.

A Tobias Turi, obrigado por seu suporte e piadas no star conflict.

A professora Ivana Marcia, por sua paciência, compreensão e profissionalismo mesmo com um desconhecido.

A você, que dedica seu tempo a ler o meu trabalho.

Resumo

Durante a execução de tarefas laborais, um trabalhador pode adotar diversas poses, algumas dessas poses se prolongadas ou repetidas, podem resultar em distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) e para se detectar e corrigir tais poses, é recomendada a execução de uma avaliação ergonômica por um ergonomista ou outro profissional da saúde ocupacional. Atualmente, avaliações ergonômicas são feitas com o auxílio de vídeos, questionários e planilhas. Nesse sentido, é proposta uma metodologia para automatização de uma avaliação ergonômica utilizando o método OWAS com a câmera de profundidade do smartphone oriundo do projeto Tango. O software proposto alcança 65,68% de acurácia para classificação de poses do torso, pernas e braços em um total de 34 poses simuladas por 3 voluntários. Também apresenta resultados comparáveis a outras metodologias usando outros sensores de profundidade.

Palavras-chaves: Avaliação ergonômica, realidade aumentada, projeto Tango, método OWAS.

Abstract

During the execution of work tasks, a worker can adopt several poses, some of these poses if prolonged or repeated, can result in musculoskeletal disorders related to work (DORT) and, to detect and correct such poses, it is recommended to perform an ergonomic evaluation by an ergonomist or other occupational health professional. Ergonomic evaluations are now done with the aid of videos, questionnaires and spreadsheets. In this sense, a methodology for automation of an ergonomic evaluation using the OWAS method with the depth camera of the smartphone from the Tango project is proposed. The methodology adopted reaches 65.68% accuracy for the classification of poses of torso, legs and arms in a total of 34 poses simulated by 3 volunteers. Also shows results comparable to other methodologies using other depth sensors.

Keywords: Ergonomic assessment, augmented reality, Tango project, OWAS method.

Lista de ilustrações

Figura 1 – As codificações de poses para o método OWAS para cada parte do corpo. Fonte: Elaborada pelo autor com base nas imagens do software WinOwas (WIN-OWAS, 1990)	21
Figura 2 – Articulações, 20 no total, que podem ser detectadas pelo Kinect. Imagem retirada de (HAN et al., 2017).	22
Figura 3 – Imagem detalhando o Kinect. a) Uma foto do <i>Kinect for Xbox 360</i> e b) Organização dos sensores do Kinect. Imagem retirada de (ZHANG, 2012).	23
Figura 4 – Lenovo Phab 2 Pro. Imagem retirada de (LENOVO, 2016a).	23
Figura 5 – Articulações que podem ser detectadas pela biblioteca OpenPose (CAO et al., 2017). Imagem retirada de (KONRAD et al., 2018)	26
Figura 6 – Diagrama que representa o fluxo e as informações entre as etapas. Fonte: Elaborada pelo autor	27
Figura 7 – A interface de usuário do aplicativo, mesmo que o usuário se mova após a captura da pose, o aplicativo mantém os pontos que representam as articulações no mesmo local. Fonte: Elaborada pelo autor	28
Figura 8 – Sequência de imagens que mostra a representação dos dados usados em cada passo.(a)Imagem originaria da câmera do celular. (b)Dados de profundidade síncronamente guardados para futura combinação. (c)Articulações detectadas e localizadas pelo OpenPose. (d)Visualização em realidade aumentada das articulações detectadas. Fonte: Elaborada pelo autor	29
Figura 9 – Imagens capturadas classificações feitas em ambas as metodologias. Fonte: Elaborada pelo autor	32
Figura 10 – Exemplo de uma das imagens para classificação das poses dos voluntários e sua respectiva marcação de classificações de cada parte do corpo do voluntario. Fonte: Elaborada pelo autor	33

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo entre a qualidade e a taxa de refrescamento dos dados de profundidade do Tango e do Kinect.	24
Tabela 2 – Resultados comparativos entre todos os acertos do projeto Tango e Kinect.	34
Tabela 3 – Resultados da classificações do torso feitas Tango e pelo Kinect.	34
Tabela 4 – Resultados da classificações das pernas feitas Tango e pelo Kinect.	34
Tabela 5 – Resultados da classificações dos braços feitas Tango e pelo Kinect.	35

Lista de abreviaturas e siglas

CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
DCO	Doença Cervicobraquial Ocupacional
DORT	Distúrbio Osteomuscular Relacionado ao Trabalho
IEA	Associação Internacional de Ergonomia
IIN	Interface de Interação Natural
LER	Lesões por Esforço Repetitivo
LTC	Lesões por Traumas Cumulativos
OWAS	Ovako Working Posture Analysing System
RA	Realidade Aumentada
RGB	Red Green Blue
SDK	Software Development Kit
SSO	Síndrome de Sobrecarga Ocupacional

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	Organização do trabalho	15
2	TRABALHOS RELACIONADOS	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1	Ergonomia	19
3.2	Método de avaliação ergonômica OWAS - Ovako Working Posture Analysing System	20
3.3	Câmeras de profundidade	21
3.4	Microsoft Kinect	22
3.5	Projeto Tango	22
4	MATERIAIS E MÉTODO	25
4.1	Ferramentas utilizadas	25
4.2	Aquisição e detecção da pose do paciente	27
4.3	Classificação postural	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Experimento de comparação com o Kinect	32
5.2	Discussão dos resultados	35
6	CONCLUSÃO	37
6.1	Trabalhos futuros	38
6.2	Produção científica	38
	REFERÊNCIAS	39

1 Introdução

Durante a execução de tarefas no trabalho, uma pessoa pode assumir diversas poses, algumas dessas poses, se prolongadas ou repetidas, podem causar um distúrbio osteomuscular relacionado ao trabalho (DORT). Portanto, para executar a detecção e correção de poses potencialmente prejudiciais à saúde do paciente, é recomendada a execução de uma avaliação postural (ou avaliação ergonômica) por um ergonomista ou outro profissional de saúde ocupacional (JUNIOR, 2006).

Uma avaliação ergonômica consiste da observação direta ou indireta de um indivíduo com o objetivo de identificar poses possivelmente prejudiciais à saúde do mesmo e atribuir o nível de risco a cada uma. As avaliações posturais no trabalho podem ser divididas em dois grupos (LIMA, 2004):

- Avaliações objetivas: consistem da observação direta do sujeito enquanto realiza suas atividades laborais por um determinado período de tempo, estão inclusas nesse grupo observações auxiliadas por vídeo e outros meios audiovisuais.
- Avaliações subjetivas: empregam meios como questionários e entrevistas. O emprego desses meios usualmente implica na inviabilidade da verificação do comportamento real, levando em consideração somente os dados oferecidos pelos próprios pacientes.

Atualmente as avaliações ergonômicas demandam a presença do ergonomista ou outro profissional de saúde ocupacional por vários dias no ambiente de trabalho do paciente, fazendo análises sobre as tarefas desenvolvidas pelo paciente, a duração delas, as poses do paciente durante a execução de suas tarefas entre outros fatores necessários para a avaliação ergonômica. Um dos problemas desse método é a subjetividade da aplicação desses métodos, como explicado em (JUNIOR, 2006):

Devido à falta de manuais técnicos orientativos, a grande maioria dos profissionais da área de segurança e saúde ocupacional acabam por realizar uma análise empírica da situação, o que obviamente pode acarretar distorções nas conclusões do trabalho, em virtude de falta de conhecimento dos fatores de risco e suas interações, falta de sensibilidade do observador, falta de método que possa ser reproduzido em diferentes situações e locais, e agilidade na análise (Junior, 2006).

Para isso, uma das possíveis abordagens é automatizar partes da avaliação ergonômica, como a determinação do nível de risco e a classificação de poses do paciente.

Um dos métodos de avaliação ergonômica mais utilizados no meio técnico e profissional (DIEGO-MAS; ALCAIDE-MARZAL, 2013) é o Ovako Working Posture Analysing System (OWAS) (KARHU; KANSI; KUORINKA, 1977; KARHU et al., 1981), que consiste basicamente na classificação e codificação das posições de partes do corpo da pessoa analisada seguidas da aplicação de uma série de regras para avaliar a pose dessa pessoa com base nas codificações feitas.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de automatizar a análise postural no trabalho (CAMELO et al., 2015). O WinOwas (WIN-OWAS, 1990) foi desenvolvido para dar suporte aos ergonomistas no uso do método OWAS. Sendo um dos softwares mais utilizados nos trabalhos de avaliação postural (VOSNIAK et al., 2011). No entanto, esse software não detecta postura. As posturas de uma atividade de trabalho são detectadas pelo ergonomista, que as informa ao sistema para que o software gere o diagnóstico. O próximo passo na automatização das avaliações ergonômicas é implementar e validar a qualidade da detecção e classificação de poses para avaliações ergonômicas.

No contexto da automação são empregados diversos equipamentos para fornecer viés à detecção de poses, recentes iniciativas acrescentam recursos tecnológicos como câmeras de vídeo Red, Green e Blue (RGB) e câmeras de profundidade à etapa de captura de posturas. Flexibilidade e baixo custo transformam as recentes câmeras de profundidade em um importante ponto de mudança de paradigma nos sistemas de análise ergonômica, sensores esses que também contribuem para o avanço da Interface de Interação Natural (IIN) que, através de gestos, possibilitam a detecção e o reconhecimento do modelo do corpo humano, abrindo novos horizontes para o desenvolvimento de aplicações para aquisição de postura e estudo da biomecânica do movimento humano.

As câmeras de profundidade podem ser classificadas como um sistema óptico sem-marcadores, de baixo custo e relativamente mais móveis, quando comparadas a outras tecnologias ópticas de captura de movimento (BERGER et al., 2011) (SHOTTON et al., 2011). No início, as câmeras de profundidade foram desenvolvidas para o uso em vídeo-games, porém, devido ao seu grande potencial em outras áreas, logo ganharam atenção da comunidade acadêmica e profissional ligada à captura de movimento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho consiste em desenvolver e avaliar um software para possibilitar a obtenção da pose do paciente e sua consecutiva avaliação postural objetiva de forma automática, através de um aparelho eletrônico móvel.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver e adaptar o software para possibilitar a captura das articulações do usuário a partir dos dados de um sensor de profundidade móvel.
- Estudar e implementar um método de avaliação postural no trabalho.
- Desenvolver uma aplicação baseada em realidade aumentada(RA) voltada ao auxílio da avaliação postural.
- Avaliar a classificação ergonômica proposta em comparação com outros meios de aquisição de dados.

1.2 Organização do trabalho

Além do Capítulo 1, este trabalho está organizado em mais 5 capítulos, sendo que o Capítulo 2 apresenta os trabalhos relacionados a avaliação ergonômica automática.

O Capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica utilizada como base para o desenvolvimento do trabalho proposto. Este capítulo explica os fundamentos da ergonomia e técnicas de avaliação ergonômica aplicadas ao trabalho e meios de detecção e aquisição de poses.

O Capítulo 4 apresenta os materiais utilizados durante o desenvolvimento deste trabalho, e logo após discorre sobre os passos executados pelo software proposto. Os resultados obtidos pela aplicação proposta são apresentados e discutidos no Capítulo 5, e por fim, o Capítulo 6 contém as considerações finais sobre esse trabalho.

2 Trabalhos relacionados

Tendo em vista a subjetividade e a repetitividade das avaliações ergonômicas atualmente, são investigadas novas metodologias que incorporem equipamentos como câmeras de profundidade e câmeras RGB na automatização da detecção e classificação de poses do paciente. Neste Capítulo serão descritos alguns trabalhos com essas metodologias e apresentados os fatores que diferenciam este trabalho de seus semelhantes.

O trabalho desenvolvido por (SUN et al., 2014) propõe a automatização do método OWAS utilizando o dispositivo Kinect da Microsoft, que é um sensor de profundidade robusto que permite a estimação das articulações do corpo com grande precisão (SHOTTON et al., 2013). De posse das coordenadas tridimensionais das articulações do paciente, as poses para os braços, pernas e tronco são codificadas através de um método desenvolvido pelos autores, levando em consideração também o peso de objetos manuseados pelo paciente (essa informação é inserida pelo usuário).

Por fim, é feita a validação com vinte e cinco especialistas OWAS, que assistiram a dois vídeos, cada um com uma atividade diferente e classificaram-os segundo o método OWAS, enquanto a aplicação proposta analisou os mesmos vídeos, de posse dos dados de profundidade, e classificou cada quadro. A comparação foi apresentada através de vários gráficos de gravidade da pose pelo tempo decorrido do vídeo. A aplicação obteve resultados semelhantes à classificação dos especialistas, somente tendo maiores variações dentro de cada período de tempo devido à natureza da classificação feita quadro a quadro.

No trabalho proposto por (DZENG; HSUEH; HO, 2017) foi desenvolvida uma aplicação chamada Posture Assessment System for Construction Workers (PAS-CW), a qual objetiva automatizar a aplicação do método OWAS para pacientes em locais de construção. A metodologia consiste do uso de um Kinect e de seu software development kit (SDK) para detectar e identificar as articulações do paciente em coordenadas tridimensionais. Então, executa-se uma codificação das poses desenvolvida pelos autores, que apesar de não descrita a fundo, se assemelha à codificação postural utilizada por (SUN et al., 2014), também considerando os pesos de objetos manuseados, e assim são direcionadas a outro algoritmo desenvolvido pelos autores para executar a classificação OWAS.

O fator de destaque nesse trabalho se encontra em sua avaliação, que trata seu método de codificação de poses e seu método de classificação OWAS separadamente, permitindo a visualização detalhada da influência na acurácia da codificação de poses no resultado da classificação OWAS. A validação foi feita com o auxílio de três especialistas, um médico especialista em reabilitação física, um professor de fisioterapia e um professor em engenharia médica. Na validação foram convidados quinze graduandos com ou sem

experiência em construção para executar quatro tarefas típicas de trabalhadores de construções, a primeira tarefa foi mover um balde com determinado peso, a segunda foi empilhar tijolos em certo padrão, a terceira foi martelar um prego e a quarta foi colocar ladrilhos em uma parede.

Os resultados desse experimento para a identificação de articulações e codificação de poses foi uma acurácia de 93,9% para a tarefa um, 92,2% para a tarefa dois, 69,4% para a tarefa três e 91,6% para a tarefa quatro, ressaltando que foi observado pelos autores que a acurácia baixa na tarefa três decorreu da oclusão das pernas do paciente enquanto executava a tarefa. Já para os resultados de classificação segundo o método OWAS obteve-se uma acurácia de 88,5% para a tarefa um, 88,2% para a tarefa dois, 48,4% para a tarefa três e 85,4% na tarefa quatro. Foi concluído que apesar da aplicação oferecer resultados favoráveis ao uso da mesma no auxílio aos ergonomistas, seria necessário o uso de mais câmeras de profundidade e algoritmos que usassem essas múltiplas câmeras para determinar as articulações do paciente com o intuito de reduzir o principal fator de erro na aquisição de articulações, a oclusão de partes do paciente.

O trabalho desenvolvido por (DIEGO-MAS; ALCAIDE-MARZAL, 2013) propõe uma aplicação para avaliação ergonômica segundo o método OWAS. A metodologia adotada consiste da aquisição das articulações a partir dos dados de profundidade do Kinect com o seu SDK, então são calculados os planos de referência, sagital, frontal e plano do tronco, para a posição do corpo inteiro do paciente. Em sequência, é feita a codificação das poses dos braços, tronco e pernas, com base nos planos e nas articulações calculadas. Por fim, é aplicada a avaliação OWAS nas poses codificadas.

No procedimento experimental para avaliação da metodologia tanto as poses "sentado" e "coluna torcida e inclinada", quanto os pesos de objetos manuseados não foram considerados. Cada pose real foi medida a três metros de distância do sensor e com os ângulos 0°, 20°, 40°, 60° e 80° em relação ao plano sagital, plano que separa as duas articulações do quadril, para medir a variação da acurácia quando o sensor não está totalmente em frente ao paciente. Para ter a mesma ordem de poses, cada pose era mostrada ao paciente de teste no momento certo e ele então imitava a pose.

Como referência dois especialistas OWAS classificaram 784 posturas a 0°, pois o Kinect tem melhor desempenho quando o paciente está de frente para o sensor (ZHANG, 2012). Inicialmente, cada especialista classificou cada pose independentemente das classificações uns dos outros, porém quando suas classificações divergiam eles discutiam qual deveria ser a verdadeira classificação e chegavam a um consenso. Na classificação com ângulo 0° o Kinect errou 27,04% das poses codificadas, a maior porcentagem de erros se concentrou na codificação das pernas, com 20,92% de erros. A classificação de risco OWAS teve acurácia de 88,77% dos casos.

A proposta deste trabalho faz uso de um sensor de profundidade móvel de alta

mobilidade e menor custo, porém de menor resolução de dados de profundidade. Para isso se adotou como equipamento o *smartphone* do projeto Tango, Lenovo Phab2 pro, as motivações do uso de tal equipamento são apresentadas na Seção 4.1. O projeto Tango é um projeto da empresa Google e se trata de um esforço para munir dispositivos móveis com sensores de profundidade para permitir a criação de aplicações em realidade aumentada nos mesmos (LEE, 2017). Uma vez que a estimação de poses está fora do escopo de objetivos do projeto Tango, que é mapeamento tridimensional de cômodos, digitalização em três dimensões de objetos, criação de aplicações com realidade aumentada e estimação da posição espacial do dispositivo Tango. Por isso, quanto aos trabalhos relacionados ao uso do projeto Tango aplicado à ergonomia, não foram encontrados trabalhos publicados.

3 Fundamentação teórica

Neste capítulo são apresentados os principais fundamentos da ergonomia e técnicas de avaliação ergonômica objetiva aplicadas no trabalho, além de meios de detecção e aquisição de poses.

3.1 Ergonomia

Segundo a Associação Internacional de Ergonomia (IEA) a ergonomia é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema. Os ergonomistas contribuem para o planejamento, projeto e a avaliação de tarefas, postos de trabalho, produtos, ambientes e sistemas de modo a torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas. Além disso, vale citar que a palavra ergonomia deriva do grego *ergon* (trabalho) e *nomos* (normas, regras, leis) (IEA, 2018).

A IEA, no mesmo texto, esclarece também os domínios de especialização da ergonomia:

- *Ergonomia física* está relacionada às características da anatomia humana, fisiologia e biomecânica em sua relação a atividade física. Os tópicos relevantes incluem o estudo do manuseio de objetos, o estudo da postura no trabalho, lesões por movimentos repetitivos (LER) e distúrbios osteo-musculares relacionados ao trabalho (DORT).
- *Ergonomia cognitiva* refere-se aos processos mentais e como podem influenciar na performance e resultado final de uma ação humana. Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado e interação homem computador.
- *Ergonomia organizacional* trata da otimização dos sistemas sóciotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e processos. Os tópicos relevantes incluem comunicações, gerenciamento de recursos de tripulações (no domínio aeronáutico), organização temporal do trabalho, trabalho em grupo, paradigmas do trabalho, trabalho cooperativo, cultura organizacional, organizações em rede e gestão da qualidade.

Uma das áreas da ergonomia física é a detecção e prevenção de distúrbios ou doenças osteomusculares relacionadas ou não ao trabalho como por exemplo a tendinite,

tenossinovite e bursite. No contexto relacionado ao trabalho essas doenças osteomusculares geralmente são referidas por uma série de termos como lesões por esforços repetitivos (LER), doenças relacionadas ao trabalho (DORT), lesões por traumas cumulativos (LTC), doença cervicobraquial ocupacional (DCO), e síndrome de sobrecarga ocupacional (SSO).

A terminologia DORT tem sido preferida por alguns autores em relação a outros tais por evitar que na própria denominação já se apontem causas definidas, como por exemplo: “cumulativo” nas LTC e “repetitivo” nas LER, e os efeitos, como por exemplo: “lesões” nas LTC e LER (INSS, 2003). Alguns autores também preferem utilizar o termo LER/DORT por esse ser um termo mais abrangente que a unidade de cada termo (SAÚDE SECRETARIA DE POLÍTICAS DE SAÚDE, 2001).

3.2 Método de avaliação ergonômica OWAS - Ovako Working Posture Analysing System

O método Ovako Working Posture Analysing System (OWAS) (KARHU; KANSI; KUORINKA, 1977; KARHU et al., 1981) se destaca por sua praticidade e comprovada eficiência, principalmente para análises posturais em atividades industriais. Foi baseado em imagens de diferentes posturas em diferentes postos de trabalho que, após análise e ordenação, serviu de base para a criação do sistema padronizado de classificação das posturas, com combinações de posturas de dorso, braços e pernas.

A força exercida pelo trabalhador por meio das mãos também é considerada no método de avaliação OWAS. As diferentes posturas padronizadas foram então analisadas por dois grupos: trabalhadores experientes e ergonomistas, que sob a ótica do desconforto e efeitos maléficos ao sistema musculoesquelético, definiram uma classificação que varia entre postura normal, sem desconforto, até postura extremamente prejudicial à saúde. Em resumo, o método identifica as posturas mais comuns para os braços, dorso e pernas como mostrado na Figura 1.

O diagnóstico e recomendação de ações são elaborados de acordo com a classe OWAS, à qual pertence cada postura avaliada. São quatro classes:

- Classe 1: indica postura normal, que dispensa cuidados;
- Classe 2: indica postura que deve ser verificada durante a próxima revisão rotineira dos métodos de trabalho;
- Classe 3: indica postura que merece atenção em curto prazo;
- Classe 4: representa as posturas que devem ter atenção imediata, pois provocarão desconforto em pouco tempo e podem causar doenças.

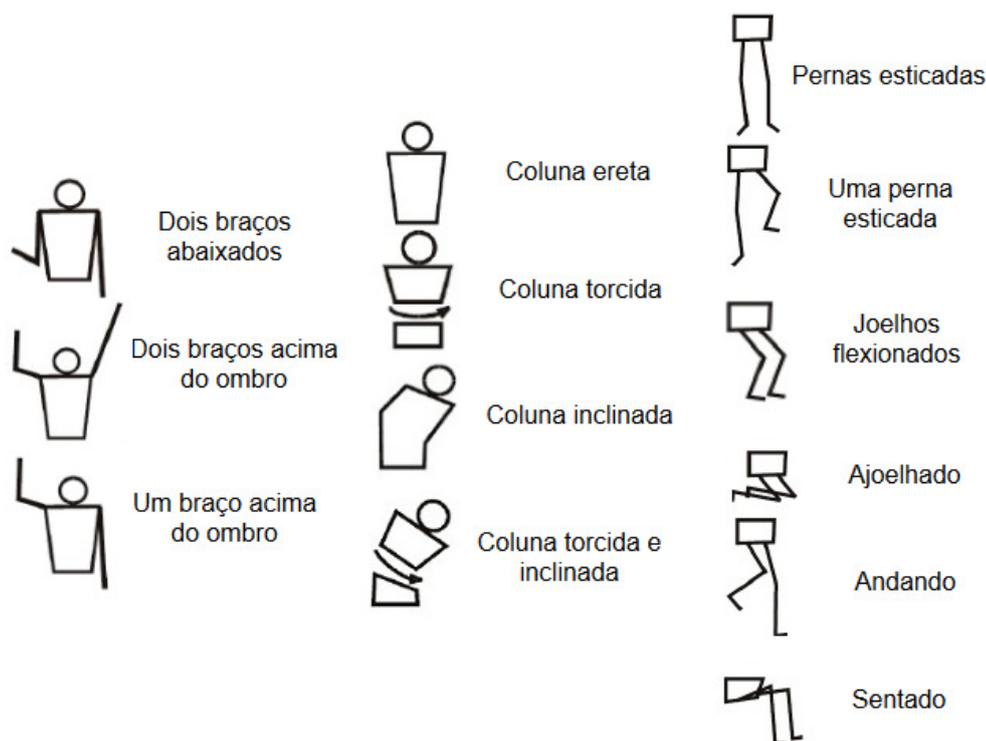


Figura 1 – As codificações de poses para o método OWAS para cada parte do corpo. Fonte: Elaborada pelo autor com base nas imagens do software WinOwas ([WIN-OWAS, 1990](#))

3.3 Câmeras de profundidade

Câmeras de profundidade podem ser classificadas como um sistema óptico sem-marcadores compostas de duas partes básicas, um projetor infravermelho e uma câmera de infravermelho, o processo básico de determinação de profundidade em uma imagem consiste em três passos:

1. Projeção, em que o projetor infravermelho emite um padrão irregular de raios infravermelhos na cena, esses raios tem a largura de onda de 1 a 700 nanômetros, portanto invisível ao olho humano, cujo espectro óptico é de 400 a 770 nm. ([QUEIROZ; GOMES, 2006](#))
2. Captura, no qual a câmera de infravermelho, diferente das câmeras RGB, são capazes de capturar luz infravermelha com base em sensores CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor), onde esses sensores são capazes de detectar a intensidade de cada raio de luz infravermelha.
3. Estimação, em que é possível calcular a distância percorrida pelo raio infravermelho do ponto de emissão até o ponto de captura. Existem dois métodos principais de estimação de distância, um com base na triangulação da trajetória do raio infravermelho emitido pelo projetor, especificado na patente WO 2007/043036

A1 (ZALEVSKY et al., 2007), e outro método com base na medição o tempo que o raio infravermelho leva para ser emitido, refletido e capturado pela câmera (SARBOLANDI; LEFLOCH; KOLB, 2015).

3.4 Microsoft Kinect

O Kinect da Microsoft foi lançado em 18 de dezembro de 2010 no Brasil, oferecendo os mais avançados sensores do mercado na época, com uma câmera de profundidade, uma câmera RGB e uma coleção de quatro microfones. Sensores esses que em conjunto com outros circuitos internos do Kinect oferecem captura de movimentos do corpo inteiro em 3D, os quais podem capturar até 20 articulações do corpo humano como visto na Figura 2, reconhecimento facial, e reconhecimento de voz (ZHANG, 2012).

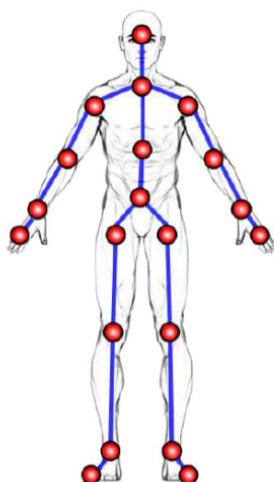


Figura 2 – Articulações, 20 no total, que podem ser detectadas pelo Kinect. Imagem retirada de (HAN et al., 2017).

Foram lançadas 4 versões oficiais, entre elas, o *Kinect for Xbox 360*, que pode ser observada na Figura 3 tem resolução de 640 x 480 pixels com frequência de atualização de 30 Hz. As mesmas características são válidas para versão para computador, denominada *Kinect for Windows*, diferenciando-se apenas por seu cabo de conexão. A linha de produtos Kinect foi descontinuada em Outubro de 2017.

3.5 Projeto Tango

Tango é uma plataforma de computação de realidade aumentada, desenvolvida e criada pela Advanced Technology and Projects (ATAP), uma divisão de pesquisa da Google. Ele usa a visão computacional para permitir que dispositivos móveis, como smartphones e tablets, detectem sua posição em relação ao mundo ao seu redor sem usar GPS ou outros



Figura 3 – Imagem detalhando o Kinect. a) Uma foto do *Kinect for Xbox 360* e b) Organização dos sensores do Kinect. Imagem retirada de (ZHANG, 2012).

sinais externos. Isso permite que os desenvolvedores de aplicativos criem experiências de usuário que incluam navegação interna, mapeamento 3D, medição do espaço físico, reconhecimento ambiental, realidade aumentada e janelas em um mundo virtual (GOOGLE; MARDER-EPPSTEIN, 2016).

O smartphone Lenovo Phab 2 Pro (LENOVO, 2016b) foi o primeiro smartphone comercial com a tecnologia Tango e conta com todas as bibliotecas e recursos da tecnologia como sensor de profundidade e câmera RGB como pode ser observado na Figura 4. Além disso, ao escolher a versão do consumidor do projeto Tango, o Lenovo Phab2 Pro, o equipamento teria a mobilidade de um smartphone e um custo menor em relação às versões tablet do projeto Tango. A captura de movimentos não é um objetivo das tecnologias desenvolvidas no projeto Tango e portanto não há nenhuma biblioteca para captura de movimentos com base nos sensores de profundidade do projeto Tango.



Figura 4 – Lenovo Phab 2 Pro. Imagem retirada de (LENOVO, 2016a).

A imagem de profundidade do sensor de profundidade do Lenovo Phab2 Pro é de 224 x 172 pixels com taxa de atualização de 10 Hz (TECHNOLOGIES; PMDTECHNOLOGIES,

2016), como pode ser comparado com o Kinect, na Tabela 1.

	Tango	Kinect
Resolução	224 x 172	640 x 480
Frequência	10 Hz	30 Hz

Tabela 1 – Comparativo entre a qualidade e a taxa de refreshamento dos dados de profundidade do Tango e do Kinect.

Apesar das possibilidades criadas pelo projeto Tango, a Google anunciou que encerraria o suporte ao Tango em 1º de Março de 2018 em favor do ARCore. O ARCore tem o objetivo de desenvolver um SDK que permita a criação de aplicativos em realidade aumentada sem a necessidade de sensores de profundidade, apenas com câmeras RGB comuns de smartphones. Esse trabalho continuou a utilizar o projeto Tango pois ele fornece dados de profundidade assim como o Microsoft Kinect, no caso o ARCore, a estimação de profundidade tem confiabilidade muito mais baixa e os dados de profundidade estimados não são facilmente acessíveis aos desenvolvedores, o que tornaria o processo de aquisição ainda mais lento.

4 Materiais e Método

Este capítulo apresenta a sequência de etapas adotada para a detecção e classificação da pose do paciente e a aplicação do método de avaliação postural OWAS. Primeiramente, as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento da metodologia proposta são apresentadas. Em seguida, cada etapa que constitui o método proposto é detalhada. Por fim, são apresentadas as métricas utilizadas para a avaliação do método proposto.

4.1 Ferramentas utilizadas

A escolha da câmera de profundidade móvel se deu através de uma pesquisa por smartphones com câmera de profundidade e, após pesquisa e comparação, decidiu-se que o smartphone Phab2 Pro da Lenovo seria o mais adequado para a aplicação, pois tanto dispunha de uma câmera de profundidade de média qualidade quanto tinha um preço acessível ao laboratório.

A escolha do método de avaliação ergonômica se deu a partir da leitura de diversos artigos relacionados à proposta desse trabalho, entre eles, os artigos citados no Capítulo 2, os quais citavam métodos de avaliação ergonômica como o Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (MCATAMNEY; CORLETT, 1993), Rapid Entire Body Assessment (REBA) (HIGNETT; MCATAMNEY, 2000) e Postural Loading on the Upper Body Assessment (LUBA) (KEE; KARWOWSKI, 2001) que analisam partes individuais do corpo do paciente, já o método OWAS (KARHU et al., 1981; KARHU; KANSI; KUORINKA, 1977), como explicado na Seção 3.2, primeiro codifica três partes principais do corpo inteiro do paciente e então avalia a pose com base nessas três partes. Além disso, o OWAS tem sido amplamente aplicado em indústrias para análise postural (ENGELS; LANDEWEERD; KANT, 1994; WRIGHT; HASLAM, 1999; SCOTT; LAMBE, 1996; GILKEY et al., 2007) e também na indústria de construção (BURDORF; GOVAERT; ELDERS, 1991; KIVI; MATTILA, 1991; MATTILA; KARWOWSKI; VILKKI, 1993; BUCHHOLZ et al., 1996; LEE; HAN, 2013).

Durante o desenvolvimento do trabalho, que originalmente buscava utilizar somente os dados de profundidade do dispositivo móvel, decidiu-se a abordagem que resultaria na maior confiabilidade e velocidade no produto final. Tal abordagem consiste em processar a detecção e a aquisição das articulações em uma máquina com mais recursos que o smartphone utilizado. Uma vez que o uso intensivo dos recursos do mesmo poderia acarretar na diminuição do tempo de vida do aparelho, além de que, dispondo de maior quantidade de recursos de processamento, poderia-se utilizar um meio mais confiável de aquisição das articulações, combinando-se os dados da câmera de profundidade com os

dados da câmera RGB do smartphone.

Portanto, optou-se por fazer a aquisição das articulações a partir dos dados da câmera do smartphone, pois tanto a imagem de profundidade quanto a imagem RGB estariam propensas a erros com a oclusão das articulações, porém a imagem RGB contém mais informações que a imagem de profundidade (a imagem RGB comporta informações espaciais e de cor, enquanto que a imagem de profundidade comporta apenas informações espaciais), sendo assim, ao se adquirir as informações a partir de uma imagem RGB da câmera do smartphone (o que implicaria em maior necessidade de recursos de processamento, porém resultando em maior confiabilidade) e então utilizar as informações espaciais da imagem de profundidade, se esperava obter maior confiabilidade na estimação da localização espacial das articulações do paciente.

Para detectar e determinar a posição das articulações do paciente buscou-se uma biblioteca de detecção de poses a partir de imagens RGB. A biblioteca OpenPose (CAO et al., 2018; CAO et al., 2017) é uma biblioteca de detecção de poses de múltiplas pessoas em tempo real partir de imagens convencionais (RGB), que foi escolhida para ser utilizada nesse trabalho por suas diversas aplicações recentes (KONRAD et al., 2018; THOMAS, 2018; PHYO et al., 2018; NORDMO, 2018). Além disso, sua capacidade de estimar poses em tempo real, a alta confiabilidade e pelo fato de ser a com o maior número de articulações capturáveis, como pode ser visto na Figura 5, contribuíram para a sua utilização.

O funcionamento da biblioteca OpenPose não é detalhado, pois este não é o escopo do trabalho proposto, que foca mais na avaliação da qualidade da classificação ergonômica a partir dos dados gerados por essa biblioteca em conjunto com os dados de profundidade do que no funcionamento em si do processo de detecção de poses, apesar de ser esse uma parte fundamental do trabalho.

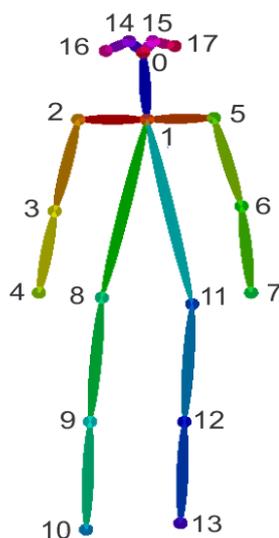


Figura 5 – Articulações que podem ser detectadas pela biblioteca OpenPose (CAO et al., 2017). Imagem retirada de (KONRAD et al., 2018)

4.2 Aquisição e detecção da pose do paciente

Nesta seção são apresentados e detalhados os principais passos do funcionamento do aplicativo desenvolvido nesse trabalho, no qual são definidas três etapas básicas, a aquisição dos dados, estimação das articulações e a apresentação em realidade aumentada.



Figura 6 – Diagrama que representa o fluxo e as informações entre as etapas. Fonte: Elaborada pelo autor

A organização dessas etapas são representadas pela Figura 6 e a organização de cada etapa é detalhada na sequência de passos a seguir:

- Passo 1: o usuário aperta um botão para detectar e classificar qualquer pessoa que esteja enquadrada na câmera do celular.
- Passo 2: são sincronamente capturados dados de imagem RGB da câmera do smartphone, os dados de profundidade da câmera de profundidade e dados da localização espacial do dispositivo, que são uma combinação dos dados gerados pelo acelerômetro, giroscópio e bússola do dispositivo.
- Passo 3: são enviados a um servidor os dados de imagem RGB.
- Passo 4: o servidor executa a biblioteca OpenPose que detecta e estima a posição das articulações do paciente na imagem recebida.
- Passo 5: o servidor envia para o dispositivo cliente as coordenadas das articulações detectadas. É importante observar que essas coordenadas foram obtidas com base em uma representação em duas dimensões do paciente, portanto as coordenadas das articulações detectadas são coordenadas em duas dimensões.
- Passo 6: o aplicativo proposto recebe e combina as coordenadas das articulações detectadas com os dados de profundidade e localização espacial do dispositivo obtidos no Passo 1 para obter as coordenadas em três dimensões das articulações.
- Passo 7: o aplicativo proposto converte as coordenadas tridimensionais das articulações para um sistema de coordenada virtual a partir dos dados de localização espacial do dispositivo. Então apresenta e mantém os pontos que representam as articulações no

mesmo local, mesmo que o usuário se mova após a captura dos dados, permitindo assim a visualização, em tempo real e de perspectivas diferentes, das articulações detectadas e sem que a pessoa sendo avaliada tenha que manter a pose, como visto na Figura 7.

A importância da obtenção das coordenadas das articulações em três dimensões não se limita a apresentação em realidade aumentada, na avaliação ergonômica por exemplo, para determinar a inclinação do torso do paciente são necessárias informações de profundidade das articulações dos ombros e dos quadris.

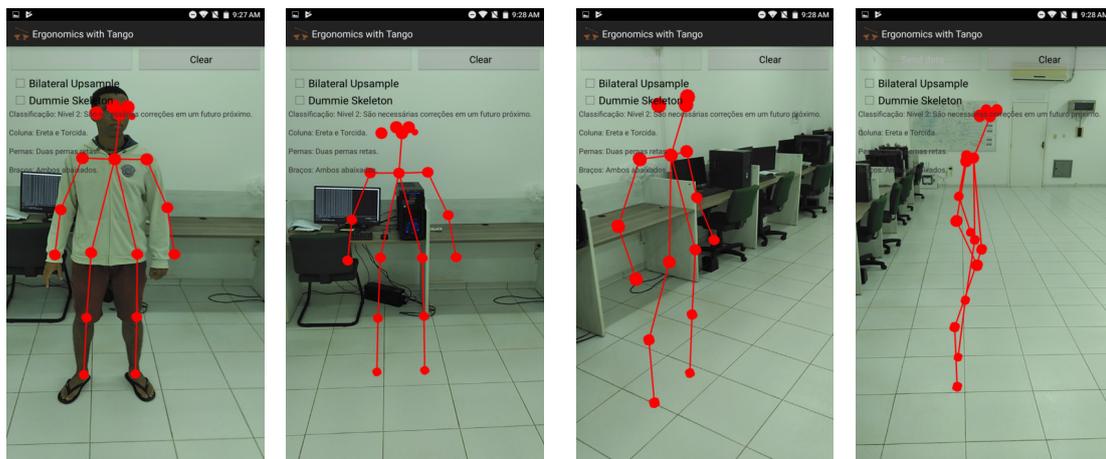


Figura 7 – A interface de usuário do aplicativo, mesmo que o usuário se mova após a captura da pose, o aplicativo mantém os pontos que representam as articulações no mesmo local. Fonte: Elaborada pelo autor

A etapa aquisição dos dados consiste nos passos 1, 2 e 3. Já a etapa estimação das articulações é composta dos passos 4, 5 e 6. Por conseguinte, a etapa apresentação em realidade aumentada é definida pelo passo 7. A Figura 8 ilustra a representação dos principais dados resultantes de cada etapa. Sendo (a) e (b) resultantes da etapa aquisição dos dados, (c) resultante da etapa estimação das articulações e (d) resultante da etapa apresentação em realidade aumentada.

Ao todo são 18 articulações do paciente mapeadas pelo aplicativo: tornozelo esquerdo, tornozelo direito, cotovelo esquerdo, cotovelo direito, pulso esquerdo, pulso direito, nariz, quadril esquerdo, quadril direito, joelho esquerdo, joelho direito, pescoço, ombro esquerdo, ombro direito, olho direito, olho esquerdo, orelha esquerda e orelha direita. É importante denotar que as articulações, sejam do Kinect ou do Tango, nem sempre equivalem às articulações reais e não devem ser consideradas como equivalentes, essas articulações apenas representam a localização estimada de partes representativas do corpo humano.

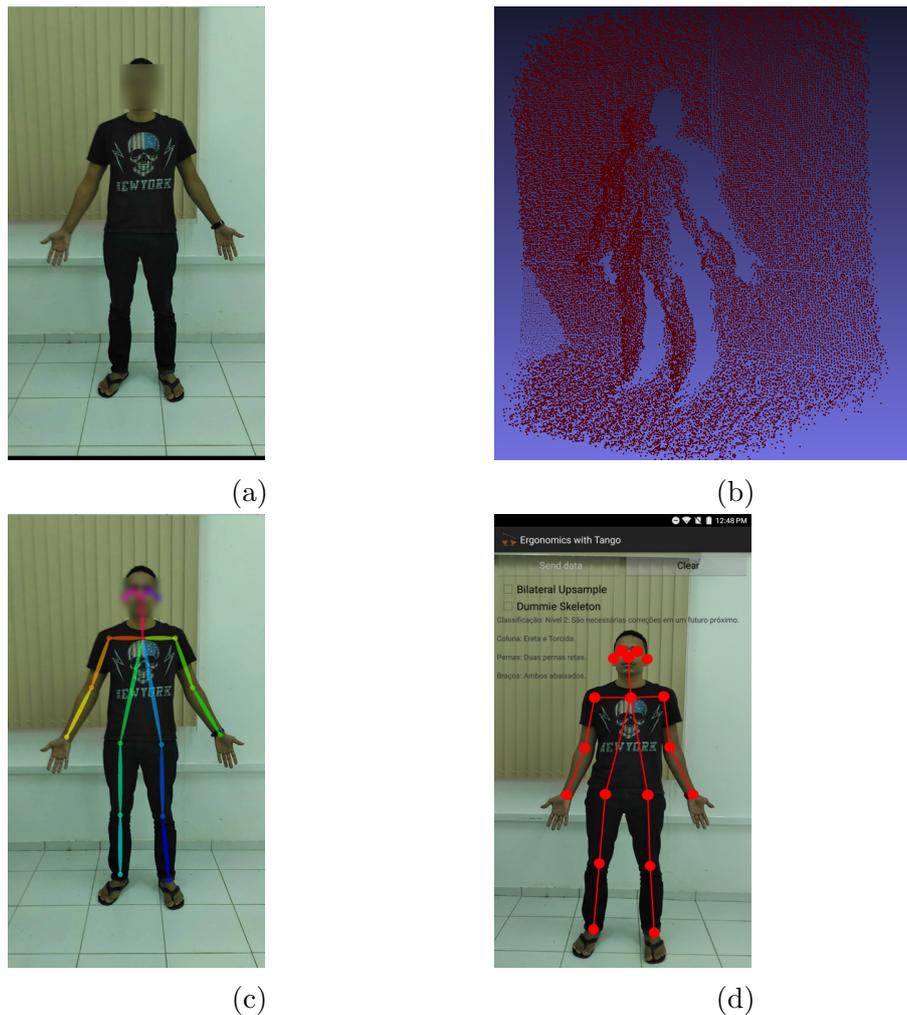


Figura 8 – Sequência de imagens que mostra a representação dos dados usados em cada passo. (a) Imagem originária da câmera do celular. (b) Dados de profundidade sincronamente guardados para futura combinação. (c) Articulações detectadas e localizadas pelo OpenPose. (d) Visualização em realidade aumentada das articulações detectadas. Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 Classificação postural

Nesse trabalho buscou-se adaptar a metodologia de classificação das partes do corpo adotada por (SUN et al., 2014), porém devido às diferenças de quais e quantas articulações são mapeadas pelo Kinect SDK e pelo OpenPose, foram necessárias modificações para se atingir o funcionamento dessa metodologia de classificação a partir das articulações fornecidas pelo OpenPose. As classificações das codificações de pernas, braços e torso foram implementadas como se segue:

Para torso, a codificação se deu através da consideração de duas condições, a condição "Torcida" e a condição "Reta", naturalmente existem apenas quatro combinações possíveis a partir dessas duas condições:

1. Se a condição "Torcida" é satisfeita e a condição "Reta" é satisfeita, a codificação

resultante para o torso é "Coluna Ereta e Torcida";

2. Se a condição "Torcida" não é satisfeita e a condição "Reta" é satisfeita, a codificação resultante para o torso é "Coluna Ereta";
3. Se a condição "Torcida" é satisfeita e a condição "Reta" não é satisfeita, a codificação resultante para o torso é "Coluna Torcida e Inclinada";
4. Se a condição "Torcida" não é satisfeita e a condição "Reta" também não é satisfeita, a codificação resultante para o torso é "Coluna Inclinada".

A condição "Torcida" é obtida a partir do cálculo do ângulo entre dois vetores, o vetor ortogonal ao vetor composto pela articulação do ombro direito e articulação do ombro esquerdo, nomeado vetor do peito, e o vetor ortogonal ao vetor composto pela articulação do quadril direito e a articulação do quadril esquerdo, nomeado vetor do quadril. Se o ângulo entre esses dois vetores for maior que 5° então essa condição "Torcida" é satisfeita.

Já a condição "Reta" é satisfeita se o ângulo entre o vetor do quadril e o vetor que parte da articulação do pescoço até o ponto médio entre ambos os quadris for maior que 80° e menor que 110° .

Para braços, a codificação para um braço levantado é feita através da comparação entre a altura do cotovelo com a altura do plano horizontal formado pelo vetor do peito e o vetor formado pelas articulações ombro direito e ombro esquerdo. Se a articulação do cotovelo de determinado braço está acima desse plano é considerado um braço levantado, esse teste é feito para cada braço. Se ambos os braços estão levantados então a codificação resultante para os braços do paciente é "Dois braços acima do ombro", se somente um dos braços do paciente está levantado então a codificação resultante é "Um braço acima do ombro" e por fim, se nenhum braço está levantado a codificação retornada será "Dois braços abaixados".

Para pernas, são considerados dois valores para a codificação, o ângulo de flexão do joelho, que é calculado a partir do vetor formado entre as articulações do quadril e tornozelo, e altura dos pés, que é calculada considerando que o pé com menor valor no eixo Z é o pé em contato com o chão e medindo-se a distância entre as duas articulações. Se o ângulo de flexão de ambos os joelhos for maior que 80° e a distância entre as juntas do tornozelo e as articulações do quadril for menor que a distância das articulações do joelho e as articulações do tornozelo então a codificação adotada será "Ajoelhado", caso a segunda condição não for satisfeita é classificado "Joelhos flexionados". Se nenhuma das condições anteriores for satisfeita então é testado se um dos ângulos de flexão de joelho é maior que 80° , caso verdadeiro, o resultado da codificação será "Uma perna flexionada", se esse também não for o caso, é testado se os ângulos de flexão de ambos os joelhos é maior que 80° então a classificação resultante para as pernas será "Pernas esticadas". Tais testes

foram implementados na mesma sucessão em que foram descritos para que seja possível a eliminação de possíveis ambiguidades na definição de cada classificação.

As posturas "Sentado" e "Em movimento" não foram implementadas pois os métodos usados para capturar o esqueleto não puderam determinar com precisão a posição das articulações quando elas estão sobrepostas, que são a maioria dos casos dessas posturas. Também foi desconsiderado o fator peso de objetos manuseados, pois não foi encontrado um meio de determinar o peso do objeto de manuseio apenas por imagens ópticas e de profundidade. Vale ressaltar também que tal classificação só se aplica a pacientes com todos os membros do corpo, pois não é possível se executar as regras da avaliação OWAS se uma ou mais das três codificações de suas respectivas partes do corpo forem desconhecidas.

A partir das classificações de cada uma das três partes do corpo do paciente, torso, pernas e braços executa-se o método de avaliação OWAS, que contém as regras de identificação das classes OWAS. Essas regras são detalhadas por [Karhu et al. \(1981\)](#), [Karhu, Kansu e Kuorinka \(1977\)](#) e não foram necessárias modificações durante a sua implementação.

5 Resultados e Discussão

Neste capítulo é descrito como foi executada a experimentação e são apresentados e comparados os resultados obtidos no método proposto com uma implementação da codificação de poses semelhante, no dispositivo Kinect.

5.1 Experimento de comparação com o Kinect

O experimento de validação da metodologia adotada nesse trabalho se deu por meio da avaliação ergonômica de trinta e quatro poses por três voluntários selecionados aleatoriamente no laboratório. Propôs-se aos três voluntários as mesmas poses, compostas de variações de classificações de torso, braços e pernas, um exemplo de pose simulada por cada voluntario é a pose "um braço levantado", "torso ereto" e "pernas esticadas" como pode ser observado na Figura 9. Cada voluntário simulou pelo menos uma de cada codificação possível para cada parte do corpo.

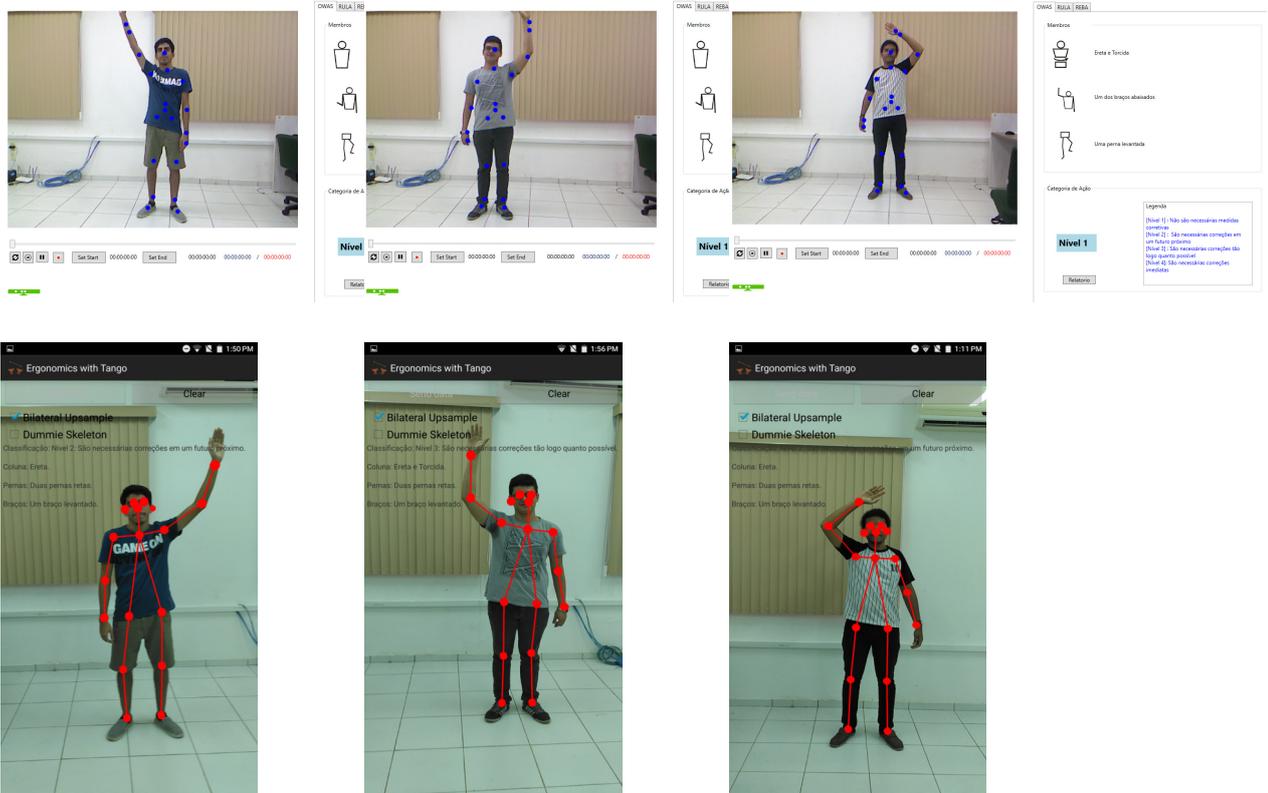


Figura 9 – Imagens capturadas classificações feitas em ambas as metodologias. Fonte: Elaborada pelo autor

O local do experimento foi preparado previamente de forma a oferecer espaço para aportar todas as poses feitas pelos voluntários. As poses foram feitas em terreno plano e

sem obstáculos próximos. A validação de cada pose de cada voluntário foi feita por um especialista em ergonomia e com experiência com o método de avaliação OWAS.

No experimento foram utilizados um *Kinect for Windows* e um smartphone Lenovo Phab2 Pro (referenciado como apenas Tango no restante do texto), no qual ambos executavam a mesma implementação da avaliação OWAS dadas as classificações das partes do corpo, com o peso de manuseio definido como três quilos. A diferença entre o Tango e o Kinect se encontra na classificação da codificação das poses, pois o *Kinect SDK* provém vinte articulações para a codificação, enquanto o OpenPose, utilizado no Tango, provém apenas dezessete articulações, sendo que quatro dessas são articulações representativas da face e que não são levadas em consideração na classificação da pose.

A implementação da classificação de cada parte do corpo é diferente entre o Kinect e o Tango. Sendo assim, é justamente essa diferença que se propõe a comparar e avaliar. A captura da classificação de cada parte do corpo nos dois dispositivos foi feita simultaneamente, com ambos lado a lado e com o mesmo ângulo de visão.

Após o experimento, as imagens dos voluntários enquanto simulavam cada pose foram enviadas a uma professora de ergonomia, especialista no método OWAS, e classificadas por ela para se obter a classificação de referência para cada parte do corpo, com o objetivo de possibilitar a classificação feita por qualquer um dos dispositivos como correta ou incorreta. Nas imagens enviadas ao especialista, os rostos dos voluntários foram borrados para garantir a imparcialidade do mesmo. Assim como pode ser visto na figura 10.

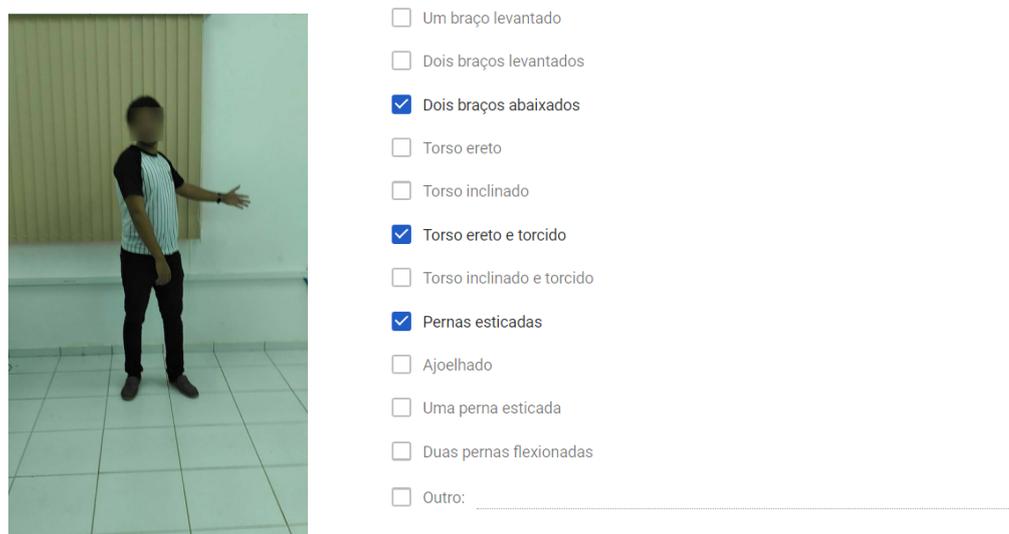


Figura 10 – Exemplo de uma das imagens para classificação das poses dos voluntários e sua respectiva marcação de classificações de cada parte do corpo do voluntário. Fonte: Elaborada pelo autor

A Tabela 2 apresenta o número de acertos na classificação de coluna (ou torso), pernas e braços, respectivamente, para cada metodologia avaliada. Nessa tabela também

são apresentadas as acurácias alcançadas para cada metodologia e na coluna "Total de poses", o total de poses para cada parte do corpo nas duas metodologias.

	Acertos Tango	Acertos Kinect	Total de poses
Coluna	11	23	34
Pernas	24	3	34
Braços	32	28	34
Acurácia	65,68%	52,94%	–

Tabela 2 – Resultados comparativos entre todos os acertos do projeto Tango e Kinect.

A Tabela 3 apresenta o número de acertos das duas metodologias avaliadas para cada classificação de coluna, conjuntamente com o total de poses com essa classificação (coluna "Total"), o total de acertos para cada metodologia e a soma das poses utilizadas (linha "Total"), podendo se ler, por exemplo, que a metodologia proposta obteve dois acertos de um total de três poses com a classificação "Torso inclinado e torcido".

	Acertos Tango	Acertos Kinect	Total de poses
Torso ereto	7	17	20
Torso ereto e torcido	2	3	5
Torso inclinado	0	1	6
Torso inclinado e torcido	2	2	3
Total de acertos	11	23	34

Tabela 3 – Resultados da classificações do torso feitas Tango e pelo Kinect.

A Tabela 4 apresenta o número de acertos das duas metodologias avaliadas para cada classificação de pernas. A coluna "Total de poses" representa o total de poses com essa classificação. A linha "Total de acertos" apresenta, respectivamente, o total de acertos da metodologia proposta, da metodologia utilizando o Kinect, e o total de poses classificadas pelas duas metodologias.

	Acertos Tango	Acertos Kinect	Total de poses
Uma perna flexionada	2	3	3
Duas pernas flexionadas	1	0	5
Ajoelhado	3	0	3
Pernas esticadas	18	0	23
Total de acertos	24	3	34

Tabela 4 – Resultados da classificações das pernas feitas Tango e pelo Kinect.

A Tabela 5 apresenta o número de acertos das duas metodologias avaliadas para cada classificação de braços. A coluna "Total de poses" representa o total de poses avaliadas pelo especialista com essa classificação. A linha "Total de acertos" apresenta, respectivamente, o total de acertos da metodologia proposta, da metodologia utilizando o Kinect, e o total de poses classificadas pelas duas metodologias.

	Acertos Tango	Acertos Kinect	Total de poses
Um braço levantado	5	3	6
Dois braços levantados	4	1	4
Dois braços abaixados	23	24	24
Total de acertos	32	28	34

Tabela 5 – Resultados da classificações dos braços feitas Tango e pelo Kinect.

5.2 Discussão dos resultados

Na Tabela 2, nas codificações de pernas e braços foi observado que a aplicação feita com o projeto Tango foi superior no número de acertos em relação ao Kinect, com uma maior diferença na comparação em relação às pernas. Já as classificações em relação aos braços, a aplicação com o projeto Tango acertou 94,11% das poses de braços. É importante notar que apesar da acurácia de 65,68%, esse resultado pode não ser significativo o suficiente para generalização, dado o tamanho da amostra (Trinta e quatro poses simuladas por três voluntários). Essa validação requer posteriores experimentos para observar a confiabilidade dessa acurácia.

Contudo, observa-se que o Tango obteve o menor número de acertos nas classificações do posicionamento da coluna, acertando apenas 11 de 34 variações de posicionamentos dessa parte do corpo. Acredita-se que erros no cálculo do ângulo de torção da coluna possam ter gerado essa diferença, classificando posições como "coluna ereta e torcida" em casos onde a coluna encontrava-se apenas "ereta".

Ao se inspecionar a Tabela 3, nota-se que não houveram acertos do Tango para poses de coluna inclinada, apesar de o Kinect só acertar uma pose dentre as poses com essa organização. É possível notar também que o maior número de acertos para ambos os dispositivos foi na classificação "Torso ereto", a qual é a pose de maior ocorrência no conjunto de poses simuladas.

Já na Tabela 4 é possível notar que o menor número de acertos em ambos os dispositivos foi encontrado na codificação "Duas pernas flexionadas", acredita-se que devido à natureza óptica da estimação de profundidade, a oclusão visual das articulações do joelho dos voluntários dificultou a detecção dessas articulações, que são fundamentais para a estimação da codificação para as pernas.

Por fim, na Tabela 5 é proeminente a classificação do código "Dois braços abaixados" pelo Kinect, o qual acertou todas as ocorrências dessa classe. No entanto, para as codificações "Dois braços levantados" e "Um braço levantado", o Tango obteve o maior número de acertos.

Ao se classificar as codificações da pose do paciente, há também (para todas as partes do corpo e em ambos os dispositivos) a possibilidade das articulações necessárias

ao cálculo da codificação de certa parte do corpo não serem obtidas, e portanto, não ser possível a codificação de tal parte do corpo do paciente, nesse caso, ambas as classificações terão o valor "Desconhecido". Na computação dos resultados, as ocorrências de valores "Desconhecido" foram consideradas erros na classificação da parte do corpo. Quando alguma das partes do corpo é classificada como "Desconhecido", a avaliação OWAS não ocorre e é solicitado ao usuário que tente fazer a captura da pose do paciente novamente.

6 Conclusão

Tendo em vista a possibilidade de contribuir para o incremento da efetividade dos ergonomistas na Análise Ergonômica do Trabalho (AET) e assim propiciar uma diminuição nos casos de acometimento de Doenças Osteoarticulares Relacionadas ao Trabalho (DORT), foi implementada uma metodologia de análise automática de postura, baseada no método de análise postural OWAS, e no uso de câmeras de profundidade.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que é possível manter uma acurácia próxima ao Kinect, um sensor mais robusto, apesar da menor quantidade e qualidade de dados obtidos pela câmera de profundidade do Tango. Além disso, o preço e a portabilidade do equipamento indicam que essa tecnologia pode ser promissora no campo da ergonomia, uma vez que a análise de uma tarefa de trabalho real, usando outros sistemas de captura de movimento mais complexos e caros poderiam influenciar no comportamento dos pacientes. Não obstante, algumas limitações foram encontradas no decorrer deste trabalho:

- O reconhecimento das articulações teve que ser feito em um servidor, por que se tornou muito lento e custoso para o smartphone;
- Limitações de hardware, como memória limitada e desempenho de processamento baixo, impedindo a realização da avaliação ergonômica em tempo real;
- A conexão com a Internet se faz necessária para o funcionamento do aplicativo dada a necessidade de comunicação com o servidor de detecção de articulações;
- Não foi possível fazer as medições para as codificações de pose "sentado" e "em movimento", pois o método de reconhecimento das articulações utilizado não suporta a determinação de articulações que se sobrepõem na imagem, nem a análise ao longo de múltiplos quadros.
- Também não foi possível garantir a qualidade da classificação para poses em que a pessoa avaliada está de lado ou de costas em relação à câmera, pois o método de detecção de articulações é otimizado apenas para poses frontais.

A tecnologia utilizada é de baixo custo e de fácil acesso, e uma vez feita a validação da metodologia com ergonomistas utilizando o aplicativo para auxiliar na avaliação postural do paciente, pode ser facilmente implantada para profissionais e instituições que trabalhem com avaliação postural.

6.1 Trabalhos futuros

Para dar continuidade à esse trabalho, sugere-se como trabalhos futuros otimizar o cálculo dos ângulos da torção da coluna, dar suporte a mais articulações a serem detectadas, implementar a avaliação quando o usuário estiver sentado, implementar outras metodologias de análise ergonômica para se obter um resultado comparativo e fazer a validação da efetividade do aplicativo no auxílio à classificação postural por ergonomistas.

6.2 Produção científica

O presente trabalho gerou um artigo científico que foi aceito na trilha de iniciação científica da vigésima edição do Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada (SVR) em 2018 intitulado "Avaliação ergonômica com projeto Tango".

Referências

- BERGER, K.; RUHL, K.; SCHROEDER, Y.; BRUEMMER, C.; SCHOLZ, A.; MAGNOR, M. A. Markerless motion capture using multiple color-depth sensors. In: *VMV*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 317–324. Citado na página 14.
- BUCHHOLZ, B.; PAQUET, V.; PUNNETT, L.; LEE, D.; MOIR, S. Path: a work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-repetitive work. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 177–187, 1996. Citado na página 25.
- BURDORF, A.; GOVAERT, G.; ELDERS, L. Postural load and back pain of workers in the manufacturing of prefabricated concrete elements. *Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 34, n. 7, p. 909–918, 1991. Citado na página 25.
- CAMELO, E. M. P. de F.; UCHÔA, D. M.; SANTOS-JUNIOR, F. F. U.; VASCONCELOS, T. B. de; MACENA, R. H. M. Use of softwares for posture assessment: Integrative review. In: . [S.l.]: Coluna/Columna, 2015. v. 14, n. 3. Citado na página 14.
- CAO, Z.; SIMON, T.; WEI, S.-E.; SHEIKH, Y. Realtime multi-person 2d pose estimation using part affinity fields. In: *CVPR*. [S.l.: s.n.], 2017. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 26.
- CAO, Z.; SIMON, T.; WEI, S.-E.; SHEIKH, Y. *OpenPose v1.3.0*. 2018. Disponível em : <https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose/releases/tag/v1.3.0>. Acesso em: 27/06/2018. Citado na página 26.
- DIEGO-MAS, J. A.; ALCAIDE-MARZAL, J. Using kinectTM sensor in observational methods for assessing postures at work. *Applied Ergonomics*, v. 45, p. 976–985, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.
- DZENG, R.; HSUEH, H.; HO, C. Automated posture assessment for construction workers. In: IEEE. *Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2017 40th International Convention on*. [S.l.], 2017. p. 1027–1031. Citado na página 16.
- ENGELS, J.; LANDEWEERD, J.; KANT, Y. An owas-based analysis of nurses' working postures. *Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 37, n. 5, p. 909–919, 1994. Citado na página 25.
- GILKEY, D. P.; KEEFE, T. J.; BIGELOW, P. L.; HERRON, R. E.; DUVALL, K.; HAUTALUOMA, J. E.; ROSECRANCE, J. S.; SESEK, R. Low back pain among residential carpenters: ergonomic evaluation using owas and 2d compression estimation. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 13, n. 3, p. 305–321, 2007. Citado na página 25.
- GOOGLE; MARDER-EPPSTEIN, E. Project tango. *SIGGRAPH '16 ACM SIGGRAPH 2016 Real-Time Live!*, 2016. Article No. 40. Citado na página 23.
- HAN, F.; REILY, B.; HOFF, W.; ZHANG, H. Space-time representation of people based on 3d skeletal data: A review. *Computer Vision and Image Understanding*, Elsevier, v. 158, p. 85–105, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 22.

HIGNETT, S.; MCATAMNEY, L. Rapid entire body assessment (reba). *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 31, n. 2, p. 201–205, 2000. Citado na página 25.

IEA. *Definition and Domains of Ergonomics*. 2018. Disponível em : <https://www.iea.cc/whats/>. Acesso em: 11/11/2018. Citado na página 19.

INSS, I. N. do S. S. *INSTRUÇÃO NORMATIVA INSS/DC Nº 98*. [S.l.], 2003. Citado na página 20.

JUNIOR, M. M. C. Avaliação ergonômica: Revisão dos métodos para avaliação postural. *Revista produção online*, v. 6, n. 3, 2006. Citado na página 13.

KARHU, O.; HÄRKÖNEN, R.; SORVALI, P.; VEPSÄLÄINEN, P. Observing working postures in industry: Examples of owas application. In: . [S.l.]: Applied Ergonomics, 1981. Citado 4 vezes nas páginas 14, 20, 25 e 31.

KARHU, O.; KANSI, P.; KUORINKA, I. Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. In: . [S.l.]: Applied Ergonomics, 1977. Citado 4 vezes nas páginas 14, 20, 25 e 31.

KEE, D.; KARWOWSKI, W. Luba: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 32, n. 4, p. 357–366, 2001. Citado na página 25.

KIVI, P.; MATTILA, M. Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerised owas method. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 22, n. 1, p. 43–48, 1991. Citado na página 25.

KONRAD, S. G.; SHAN, M.; MASSON, F.; WORRALL, S.; NEBOT, E. Pedestrian dynamic and kinematic information obtained from vision sensors. 06 2018. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 26.

LEE, J. 4-1: Invited paper: Mobile ar in your pocket with google tango. In: WILEY ONLINE LIBRARY. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. [S.l.], 2017. v. 48, n. 1, p. 17–18. Citado na página 18.

LEE, T.-H.; HAN, C.-S. Analysis of working postures at a construction site using the owas method. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 19, n. 2, p. 245–250, 2013. Citado na página 25.

LENOVO. *PHAB2 Pro*. 2016. <<https://www.lenovo.com/us/en/smart-devices/-lenovo-smartphones/phab-series/Lenovo-Phab-2-Pro/p/WMD00000220>>. [Online; Acessado em 18/11/2018]. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 23.

LENOVO. *PHAB2 Pro Datasheet*. 2016. <https://www.lenovoonline.sk/files/product_files/37576cda3f9ef9263c22551c49b5bc0d.pdf>. [Online; Acessado em 18/11/2018]. Citado na página 23.

LIMA, J. A. d. A. Bases teóricas para uma metodologia de análise ergonômica. In: *PUC-RJ. ERGODESIGN-CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA: PRODUTOS, PROGRAMAS, INFORMAÇÃO, AMBIENTE CONSTRUÍDO*. [S.l.: s.n.], 2004. v. 4. Citado na página 13.

- MATTILA, M.; KARWOWSKI, W.; VILKKI, M. Analysis of working postures in hammering tasks on building construction sites using the computerized owas method. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 24, n. 6, p. 405–412, 1993. Citado na página 25.
- MCATAMNEY, L.; CORLETT, E. N. Rula: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied ergonomics*, Elsevier, v. 24, n. 2, p. 91–99, 1993. Citado na página 25.
- NORDMO, T.-A. S. *Arctic HARE. A Machine Learning-based System for Performance Analysis of Cross-country Skiers*. Dissertação (Mestrado) — UiT Norges arktiske universitet, 2018. Citado na página 26.
- PHYO, A. S.; FUKUDA, H.; LAM, A.; KOBAYASHI, Y.; KUNO, Y. Natural calling gesture recognition in crowded environments. In: SPRINGER. *International Conference on Intelligent Computing*. [S.l.], 2018. p. 8–14. Citado na página 26.
- QUEIROZ, J. E. R. de; GOMES, H. M. Introdução ao processamento digital de imagens. *RITA*, v. 13, n. 2, p. 11–42, 2006. Citado na página 21.
- SARBOLANDI, H.; LEFLOCH, D.; KOLB, A. Kinect range sensing: Structured-light versus time-of-flight kinect. *Computer vision and image understanding*, Elsevier, v. 139, p. 1–20, 2015. Citado na página 22.
- SAÚDE SECRETARIA DE POLÍTICAS DE SAÚDE, D. d. A. P. e. E. T. d. S. d. T. Ministério da. *Lesões por Esforços Repetitivos (LER) Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT)*. [S.l.], 2001. Citado na página 20.
- SCOTT, G. B.; LAMBE, N. R. Working practices in a perchery system, using the ovako working posture analysing system (owas). *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 27, n. 4, p. 281–284, 1996. Citado na página 25.
- SHOTTON, J.; FITZGIBBON, A.; COOK, M.; SHARP, T.; FINOCCHIO, M.; MOORE, R.; KIPMAN, A.; BLAKE, A. Real-time human pose recognition in parts from single depth images. In: IEEE. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on*. [S.l.], 2011. p. 1297–1304. Citado na página 14.
- SHOTTON, J.; GIRSHICK, R.; FITZGIBBON, A.; SHARP, T.; COOK, M.; FINOCCHIO, M.; MOORE, R.; KOHLI, P.; CRIMINISI, A.; KIPMAN, A. et al. Efficient human pose estimation from single depth images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE, v. 35, n. 12, p. 2821–2840, 2013. Citado na página 16.
- SUN, T.-H.; LIN, R.-H.; LIU, F.-C. T. M.-L.; PAN, Y.-T. Automation musculoskeletal disorders assessment using owas and kinect™. *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors: Part II*, v. 20, p. 36–43, 2014. 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 29.
- TECHNOLOGIES, I.; PMDTECHNOLOGIES. *Market News: Google’s “Project Tango” using Infineon’s IRS1645C 3D image sensor chip*. 2016. <https://www.pmdtec.com/html/pdf/press_release/Market%20News_REAL3_EN_final.pdf>. [Online; Acessado em 18/11/2018]. Citado na página 24.
- THOMAS, C. Multimodal teaching and learning analytics for classroom and online educational settings. In: ACM. *Proceedings of the 2018 on International Conference on Multimodal Interaction*. [S.l.], 2018. p. 542–545. Citado na página 26.

VOSNIAK, J.; LOPES, E. da S.; INOUE, M. T.; BATISTA, A. Evaluation of working postures in workers at planting and fertilizing activities in forest plantations. In: . [S.l.]: Revista Ceres, 2011. v. 58, n. 5. Citado na página 14.

WIN-OWAS. Manual software for owas analysis. Tampere University of Technology, Occupational and Safety Engineering (1990), 1990. Disponível em: <<http://home.spin.net.au/safehands/reference%20documents/software%20for%20owas%20analysis.pdf>>. Acesso em: 30/06/2018. Citado 3 vezes nas páginas 9, 14 e 21.

WRIGHT, E.; HASLAM, R. Manual handling risks and controls in a soft drinks distribution centre. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 30, n. 4, p. 311–318, 1999. Citado na página 25.

ZALEVSKY, Z.; SHPUNT, A.; MALZELS, A.; GARCIA, J. *Method and system for object reconstruction - WO 2007/043036 A1*. [S.l.]: PCT International, 2007. Patente disponível em: <<https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2007043036>>. Citado na página 22.

ZHANG, Z. Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE multimedia*, IEEE, v. 19, n. 2, p. 4–10, 2012. Citado 4 vezes nas páginas 9, 17, 22 e 23.