

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO
HUMANO

**DESENVOLVIMENTO DE PROTOTIPO DE BAIXO
CUSTO CONTROLADO POR ALGORITMO INTELIGENTE
PARA CLASSIFICAÇÃO DO EXERCÍCIO FÍSICO**

Bráulio Nascimento Lima

2022

BRÁULIO NASCIMENTO LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTOTIPO DE BAIXO
CUSTO CONTROLADO POR ALGORITMO INTELIGENTE
PARA CLASSIFICAÇÃO DO EXERCÍCIO FÍSICO**

Texto de defesa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, da Universidade Metodista de Piracicaba, como quesito para a obtenção do Título de Doutor em Ciências do Movimento Humano.

ORIENTADOR: Professor Dr. Guanis de Barros Vilela Junior

PIRACICABA-SP

2022

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecária: Joyce Rodrigues de Freitas - CRB-8/10115.

Lima, Bráulio Nascimento

L732d Desenvolvimento de Protótipo de Baixo Custo Controlado por
Algoritmo Inteligente para Classificação do Exercício Físico/
Bráulio Nascimento Lima - 2022.
96f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Guanys de Barros Vilela Junior.

Tese (Doutorado) – Universidade Metodista de Piracicaba,
Ciências do Movimento Humano, Piracicaba, 2022.

1. Inteligência artificial. 2. Prototipagem. 3. Classificação. I.
Lima, Bráulio Nascimento. II. Título.

CDD – 153

RESUMO

Introdução: Nos dias atuais, a ciência tem utilizado as novas tecnologias para superar os limites biológicos e obter dados mais robustos, tornando fundamental para um novo perfil de pesquisador o domínio da linguagem de programação e técnicas de prototipagem. No presente momento, não existem perspectivas de desaceleração para o desenvolvimento de novas tecnologias e suas novas aplicações, influenciando também no desenvolvimento de estudos nas Ciências do Movimento Humano. Inteligência artificial (IA) é a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes. A prototipagem é o processo de transferência do conceitual para uma simulação real. **Objetivo:** Desenvolver *hardware* e algoritmo inteligente, capazes de gerarem dados, através de prototipagem baseada em tecnologia Arduino de baixo custo, para ser processados através de algoritmo inteligente baseado em K-NN (*K-Nearest Neighbors*) para classificação de exercício físico. **Métodos:** No presente trabalho foi desenvolvido um protótipo de coleta de dados através de acelerômetro e giroscópio, baseado em tecnologia Arduino, posicionado na região posterior da cintura; foi desenvolvido um algoritmo inteligente em linguagem de programação *Python*TM no *Software Visual Studio Code*[®] baseado em K-NN para classificar exercício físico; o protocolo experimental se baseou em 16 indivíduos jovens, sem necessidades de adaptação e conhecedores das quatro exercícios físicos a serem executadas em três séries de três repetições; primeiros frames de cada repetição de exercício físico foram separados manualmente no *Microsoft Excel*[®] para serem processados pelo algoritmo inteligente. **Resultados:** O algoritmo foi capaz de alcançar uma média macro de precisão próximo de 85%, de sensibilidade próximo de 78%, de F1-Score próximo de 79%, de Índice Fowlkes-Mallows (FMI) próximo de 80% e especificidade próximo de 93%. A acurácia apresentada pelo modelo foi de 80,08%. **Considerações Finais:** O *hardware* e o algoritmo inteligente desenvolvidos apresentaram métricas que corroboram a hipótese experimental, com métricas consideradas robustas. O presente trabalho sugere ser necessário a continuação do estudo com mais pesquisas que continuem sendo desenvolvidas para atualizar o protótipo e o algoritmo inteligente através da implementação de novas tecnologias que venham a surgir no futuro próximo. Isso, provavelmente, possibilitará uma mudança de paradigma nas ciências do movimento humano (educação física, fisioterapia, ortopedia) com análises, intervenções e diagnósticos mais precisos e confiáveis na classificação de diferentes movimentos locomotores.

Palavras-chave: Prototipagem; Inteligência Artificial (IA); Exercício Físico; Classificação.

ABSTRACT

Introduction: Nowadays, science has used new technologies to overcome biological limits and obtain more robust data, making mastering programming language and prototyping techniques essential for a new researcher profile. At the present time, there are no prospects of slowing down the development of new technologies and their new applications, also influencing the development of studies in the Human Movement Sciences. Artificial intelligence (AI) is the science and engineering of making intelligent machines. Prototyping is the process of transferring the conceptual to a real simulation. **Objective:** To develop intelligent hardware and algorithm, capable of generating data, through prototyping based on low-cost Arduino technology, to be processed through an intelligent algorithm based on K-NN (K-Nearest Neighbors) for activity/physical exercise classification. **Methods:** In the present work, a data collection prototype was developed through an accelerometer and gyroscope, based on Arduino technology, positioned in the posterior region of the waist; an intelligent algorithm was developed in Python™ programming language in Visual Studio Code® Software based on K-NN to classify physical activity/exercise; the experimental protocol was based on 16 young individuals, with no need for adaptation and knowledgeable of the four physical activities/exercises to be performed in three sets of three repetitions; first frames of each activity/exercise repetition were manually separated in Microsoft Excel® to be processed by the intelligent algorithm. **Results:** The algorithm was able to reach a macro avg precision close to 85%, a recall close to 78%, F1-Score close to 79%, Fowlkes-Mallows Index (FMI) close to 80% and specificity close to 93%. The accuracy presented by the model was 80.08%. **Final Considerations:** The developed hardware and intelligent algorithm presented metrics that corroborate the experimental hypothesis, with metrics considered robust. The present work suggests that it is necessary to continue the study with more research that continues to be developed to update the prototype and the intelligent algorithm through the implementation of new technologies that may arise soon. This will probably enable a paradigm shift in human movement sciences (physical education, physiotherapy, orthopedics) with more accurate and reliable analyzes, interventions and diagnoses in the classification of different locomotor movements.

Keywords: Prototyping; Artificial Intelligence (AI); Physical activity; Physical exercise; Classification.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS | 4 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 5 |
| LISTA DE TABELAS..... | 7 |
| LISTA DE GRÁFICOS | 8 |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. JUSTIFICATIVA | 18 |
| 3. OBJETIVO | 20 |
| 3.1. Objetivo Geral | 20 |
| 3.2. Objetivos Específicos..... | 20 |
| 5. HIPÓTESE..... | 21 |
| 6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 22 |
| 6.1. IA na Saúde..... | 22 |
| 6.2. Aplicações da IA no Movimento Humano..... | 29 |
| 6.3. Prototipagem no Movimento Humano..... | 33 |
| 6.4. Novas Tecnologias e Possíveis Tendências para o Movimento Humano..... | 36 |
| 7. MÉTODOS..... | 41 |
| 7.1. Casuística..... | 41 |
| 7.2. Amostra | 41 |
| 7.3. Critérios de inclusão e exclusão | 42 |
| 7.4. Aspectos éticos..... | 42 |
| 7.5. Eventuais riscos | 42 |
| 7.6. Instrumentos | 43 |
| 7.7. <i>Design</i> experimental | 46 |
| 8. RESULTADOS | 53 |
| 9. DISCUSSÃO | 70 |
| 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 80 |
| 11. REFERÊNCIAS..... | 83 |
| ANEXO I - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP..... | 96 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|--|
| IA | Inteligência Artificial |
| AM | Aprendizado de Máquina |
| AP | Aprendizado Profundo |
| PLN | Processamento de Linguagem Natural |
| RNA | Rede Neural Artificial |
| COVID-19 | Corona Vírus de 2019 |
| K-NN | <i>K-Nearest Neighbors</i> |
| RNC | Redes Neurais Convolucionais |
| IMC | Índice de Massa Corporal |
| TCLE | Termo de Consentimento Livre e Esclarecido |
| OLED | <i>Organic Light-Emitting Diode</i> |
| SVM | <i>Support Vector Machine</i> |
| EMG | Eletromiografia |
| mAh | Miliampere por Hora |
| FMI | Fowlkes-Mallows Index |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 01 | Componentes para a construção do <i>Hardware</i> de coleta baseados em tecnologia Arduino. 1 - MPU-6050 (Acelerômetro e Giroscópio), 2 - Placa Arduino Pró Mini, 3 - Gravador de SD, 4 - Bateria de 9volts, 5- <i>Display</i> OLED, 6-Case de Acrílico e 7- Cinta. | 38 |
| Figura 02 | Ligações entre componentes para montagem de protótipo. | 39 |
| Figura 03 | <i>Hardware</i> baseado em tecnologia Arduino para coleta de dados de variação inercial de acelerometria. | 40 |
| Figura 04 | Fluxo de etapas do <i>Design</i> experimental. | 40 |
| Figura 05 | Fluxograma da primeira etapa com desenvolvimento do protótipo e do <i>software</i> baseado em Algoritmo inteligente seguindo para o protocolo experimental. | 42 |
| Figura 06 | Posicionamento do protótipo durante a coleta de dados do protocolo experimental. | 43 |
| Figura 07 | Fluxograma da segunda e terceira etapas com a da coleta de dados e fase computacional de aplicação do <i>software</i> baseado em algoritmo inteligente. | 45 |
| Figura 08 | Programação do <i>Hardware</i> de coleta baseados em tecnologia Arduino. <i>Software</i> Arduino IDE. | 49 |
| Figura 09 | Programação do Algoritmo de IA escrito em linguagem <i>Python</i> TM . <i>Software</i> <i>Visual Studio Code</i> [®] . | 51 |
| Figura 10 | Classificação apresentada pelo Algoritmo inteligente através de ferramenta de IA baseada em K-NN no <i>Visual Studio Code</i> [®] com linguagem escrita em <i>Python</i> em uma visão geral do programa. | 56 |

- Figura 11 Classificação apresentada pelo Algoritmo inteligente através de ferramenta de IA baseada em K-NN no *Visual Studio Code*® com linguagem escrita em *Python* em uma visão dos resultados obtidos. 56
- Figura 12 Organização dos dados para a leitura do *software* baseado em algoritmo inteligente utilizando ferramenta K-NN 57

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 01 | As 20 principais tendências <i>fitness</i> mundiais para 2022. | 33 |
| Tabela 02 | Características da Amostra. | 35 |
| Tabela 03 | Classificação apresentada pelo Algoritmo inteligente através da ferramenta de IA proposta. | 58 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|------------|---|----|
| Gráfico 01 | Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) do eixo vertical (Y) de todos os exercícios aplicados no protocolo experimental. | 52 |
| Gráfico 02 | Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) do eixo vertical (Y) de uma série de <i>BP</i> aplicada no protocolo experimental. | 52 |
| Gráfico 03 | Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) dos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma série de <i>BP</i> aplicada no protocolo experimental. | 53 |
| Gráfico 04 | Exemplo de dados brutos do Giroscópio ($^{\circ}/\text{seg}^2$) nos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma série de <i>BP</i> aplicada no protocolo experimental. | 53 |
| Gráfico 05 | Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) dos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma repetição de <i>BP</i> aplicada no protocolo experimental. | 54 |
| Gráfico 06 | Exemplo de dados brutos do Giroscópio ($^{\circ}/\text{seg}^2$) nos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma repetição de <i>BP</i> aplicada no protocolo experimental. | 54 |
| Gráfico 07 | Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) dos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) dos cinco primeiros frames de uma repetição de <i>BP</i> aplicada no protocolo experimental. | 55 |

Gráfico 08 Exemplo de dados brutos do giroscópio ($^{\circ}/\text{seg}^2$) nos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) dos cinco primeiros frames de uma repetição de *BP* aplicada no protocolo experimental. 55

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, o termo Inteligência Artificial (IA) é atribuído a uma forma popular de imaginar a imitação da inteligência humana, gerando um empirismo onde homens e máquinas disputam espaço intelectual entre si, em uma visão *hollywoodiana*, porém o conceito acadêmico segue em um caminho diferente. Para melhor entender o conceito de IA é importante situar o contexto histórico, pois o referido conceito foi formulado pela primeira vez por Alan Turing em 1950 no livro “*Computers and Intelligence*” descrevendo a IA como a simulação do comportamento inteligente (KAUL; ENSLIN; GROSS, 2020). Alguns anos depois, John McCarthy descreve a IA como “a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes” (KAUL; ENSLIN; GROSS, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a).

Na medida em que estudos avançam no entendimento do comportamento inteligente humano e novas tecnologias computacionais se tornam cada vez mais poderosas, os estudos e aplicações da IA também avançam (KAUL; ENSLIN; GROSS, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a). Atualmente os estudos da IA apresentam subáreas que se relacionam com o entendimento atual da inteligência humana como Aprendizado de Máquina (AM), Aprendizado Profundo (AP), Processamento de Linguagem Natural (PLN) e visão computacional (KAUL; ENSLIN; GROSS, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a).

A IA é, de forma geral, conceituada como algoritmos capazes de resolver algum problema. A referida percepção programada de identificação do entorno para extrair dados e promover decisões, conseqüentemente, torna tais algoritmos apropriados para maximizar suas chances de alcançar objetivos (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS,

2020a). Ao utilizar a IA para simular a mente humana, podemos identificar o conceito que envolve o AM onde os dados apresentados para o algoritmo melhoram sua sensibilidade para reagir e processar um determinado evento (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020).

Para compor a IA, normalmente temos o envolvimento de um *software* e um *Hardware*, onde, do ponto de vista do *software*, a IA está composta por algoritmos e a estrutura conceitual para execução dos mesmos, formando uma rede neural artificial (RNA); do ponto de vista do *Hardware*, a IA se alimenta de um *input*, onde os dados do meio externo tornam-se possíveis de serem interpretados e processados para gerar um *output*, ou seja, os mecanismos de acesso ao meio externo, tanto para entrada de dados (*input*) quanto para resposta (*output*) são compostos por *Hardwares* (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a). O referido modelo é uma imitação do sistema biológico, pois, tomando por exemplo o ser humano, observamos uma rede interconectada, na qual existem canais de comunicação entre os neurônios que processam os dados das vias sensoriais para manifestar respostas (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a). A inclusão de *Hardware* em uma nova aplicação de *inputs* e *outputs* no processamento da RNA, dentro de um estudo científico, passa pela prototipagem, que é o processo de transferência do conceitual para uma simulação real (KONDAVEETI; KUMARAVELU; VANAMBATHINA; MATHE *et al.*, 2021).

Com o avanço da tecnologia computacional, a Rede Neural Artificial (RNA) pode ter mais camadas de algoritmos em seu processamento, aumentando a possibilidade de imitar um cérebro humano, conseqüentemente

de aumentar o poder do AM (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020). Outra consequência do avanço computacional é o aumento das funções que podem ser incorporadas a RNA envolvendo a extração e classificação de recursos em uma única rede cada vez mais profunda, gerando o conceito de AP (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a).

Com o aumento da complexidade da RNA novas demandas de implementação podem direcionar para a melhoria da capacidade da mesma em imitar o comportamento biológico inteligente (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020). Para isso, novos *inputs* e *outputs* podem ser implementados, acrescentando desafios relevantes na continuação da evolução dos processamentos da RNA (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a).

Nos últimos anos a IA passou a ser um objeto de grande interesse para pesquisadores em todo o mundo, abrangendo estudos que contemplam diversas áreas de conhecimento, podendo ter como exemplo os simuladores em diversos contextos, as aplicações para a justiça, as aplicações para as áreas das engenharias e as aplicações para a área da saúde (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILONE; LONGO, 2020). A quantidade de dados possíveis de serem extraídos a partir de tecnologias cada vez mais sensíveis comandadas por IA, sugerem a necessidade de maior entendimento sobre a interpretação dos mesmos. A IA se apresenta como uma ferramenta de análise especializada sendo a principal alternativa para a interpretação de uma quantidade de dados cada vez maior (RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a; VILONE; LONGO, 2020).

A infinidade de dados possíveis de serem coletados e analisados através de recursos baseados em novas tecnologias controladas por IA, exigem conhecimentos específicos para lidar com a interpretação de modelos de Aprendizagem de Máquina (AM) e a formação de explicações possíveis de serem entendidas pelo ser humano (VILONE; LONGO, 2020). A tendência de utilização da IA como ferramenta está longe de ter uma previsão de limites, pois trata-se de possibilidades em uma abundância de conhecimentos em diversos campos que estão em dispersão, precisando de organização (VAN ROY; VERTESY; DAMIOLI, 2020; VILONE; LONGO, 2020).

Para Vilone & Longo(2020), a maior parte dos resultados publicados em trabalhos originais obtidos através de AM representam uma “caixa preta” que oculta a complexidade das ferramentas utilizadas, ou seja, trata-se de estudos em que parte da ferramenta baseada em IA não é publicada e, mesmo quando publicada, não é possível de ser entendida por leigos em programação. Questões epistemológicas e éticas constantemente são colocadas em debate em detrimento a opacidade da geração de dados indutivos inerentes aos processamentos de dados que utilizam a IA. A referida situação gerada pelo processamento de dados utilizando IA, deve direcionar a responsabilidade para seus pesquisadores, gerando exigências de cunho legal (VILONE; LONGO, 2020).

A implementação da IA para inúmeras atividades gerou um aumento de patentes sensível a partir do ano de 2013, tendo um momento de maior notoriedade entre os anos de 2015 e 2016 (VAN ROY; VERTESY; DAMIOLI, 2020). O número de patentes envolvendo IA permanece em ascensão nos dias

atuais, demonstrando que o momento ainda está direcionado para essa tendência (VAN ROY; VERTESY; DAMIOLI, 2020).

A popularização das linguagens de programação ainda está distante de uma realidade de fácil acesso para a população como um todo, mas já é possível identificar implementação de programação e robótica como parte da educação de crianças em algumas escolas, sendo uma ferramenta para gerar bons resultados na aprendizagem das mesmas (ANDRIOLA, 2021; MAIA NETO; SILVA; SILVA; SOUSA, 2021; SOPHOKLEOUS; CHRISTODOULOU; DOITSIDIS; CHATZICHRISTOFIS, 2021). Aos poucos nossa sociedade, ou uma parte privilegiada dela, está se direcionando e preparando para o próximo momento de revolução tecnológica, onde as necessidades de entendimento sobre programação e robótica passam a ser fundamentais em detrimento ao fluxo de informações e processamento de dados, dessa forma, podemos encontrar aulas de robótica em algumas escolas (MAIA NETO; SILVA; SILVA; SOUSA, 2021; SOPHOKLEOUS; CHRISTODOULOU; DOITSIDIS; CHATZICHRISTOFIS, 2021; VILELA JUNIOR; FILENI; MARTINS; CAMARGO *et al.*, 2020).

Uma das ferramentas que atualmente encontram-se no mercado para popularizar a robótica e a implementação de novos algoritmos é o Arduino, pois trata-se de uma plataforma de prototipagem desenvolvida para dar acesso a inúmeros *inputs* e *outputs* (KONDAVEETI; KUMARAVELU; VANAMBATHINA; MATHE *et al.*, 2021; MAIA NETO; SILVA; SILVA; SOUSA, 2021). O Arduino funciona como um microcontrolador, que não pode ser confundido com um computador convencional, pois sua atividade é dedicada para uma determinada função, ao qual está programado e especializado a executar para coletar,

processar e reportar dados (KONDAVEETI; KUMARAVELU; VANAMBATHINA; MATHE *et al.*, 2021).

A plataforma Arduino tem se apresentado como uma ferramenta para ensinar sistemas e aplicações com uma gama muito extensa de finalidades, possibilitando que fosse empregada em diferentes níveis de ensino, ou seja, é uma plataforma possível de ser utilizada tanto no ensino primário quanto no universitário (MELO; FIDELIS; ALVES; FREITAS *et al.*, 2020). Dentre os motivos da popularização da referida plataforma é identificável o baixo custo e a facilidade para programar (MELO; FIDELIS; ALVES; FREITAS *et al.*, 2020).

O Arduino, por ser uma plataforma de baixo custo, representa uma alternativa para pesquisadores que não possuem grandes quantias para investimento em estudos que envolvam novas tecnologias e prototipagem (KHANKALANTARY; RANJBARAN; EBADOLLAHI, 2021). Muitos estudos que envolvem as implementações de *input* e *output* baseados em Arduino, buscam baixo custo para desenvolvimento de trabalhos, disponibilizando bibliotecas de programação e formas de calibração fáceis de serem entendidas e aplicadas (JEFIZA; PRAMUNANTO; BOEDINOEGROHO; PURNOMO, 2017; KHANKALANTARY; RANJBARAN; EBADOLLAHI, 2021).

Dentre os sensores possíveis de serem controlados pelo Arduino, temos o acelerômetro linear e acelerômetro angular de três eixos correspondente ao MPU6050, já utilizado para avaliações de movimento humano (HSIEH; LIN, 2020). O referido sensor identifica as acelerações através de um sensor piezoelétrico, ou seja, possui uma massa sísmica que é posta em contato direto com o cristal piezoelétrico e a carga elétrica produzida nesse sistema apresenta

proporcionalidade a aceleração, que é traduzida em dados (KHANKALANTARY; RANJBARAN; EBADOLLAHI, 2021).

A sensibilidade dos sensores de acelerometria linear e angular baseados no MPU6050, controlados por IA tem sido usado para avaliar risco de quedas, em especial para indivíduos idosos (DE LUCA; CARNUCCIO; GARCIA; BARILLARO, 2016; HSIEH; LIN, 2020; JEFIZA; PRAMUNANTO; BOEDINOEGROHO; PURNOMO, 2017). No referido contexto, a avaliação subjetiva, do olhar humano, se torna muito imprecisa para identificar mudanças sutis no padrão de movimentação da caminhada do idoso, ou seja, a implementação do MPU6050 como *input*, controlado por Arduino, tendo os dados processados por IA, geram *outputs* muito mais precisos sobre mudanças que aumentam o risco de quedas para esses sujeitos (DE LUCA; CARNUCCIO; GARCIA; BARILLARO, 2016; HSIEH; LIN, 2020; JEFIZA; PRAMUNANTO; BOEDINOEGROHO; PURNOMO, 2017).

No estudo desenvolvido por Hsieh & Lin (2020), além do *Hardware* de baixo custo, a calibração foi realizada utilizando a gravidade do planeta terra, diminuindo o custo para a realização do experimento, mesmo com a diminuição da precisão dos dados envolvendo os valores, a percepção de alterações no padrão mantiveram-se possíveis de serem identificadas pela IA. Os estudos utilizando a referida técnica, de *input* MPU6050, processada por IA, demonstram a possibilidade da utilização do modelo de classificação para análise do movimento humano com grande acurácia (HSIEH; LIN, 2020).

A precisão da IA, em detrimento a subjetividade da interpretação humana, tem demonstrado ser uma ferramenta útil para as ciências da saúde, tendo grande aplicação em ortopedia, oftalmologia, dermatologia e patologias em geral

(KULKARNI; SENEVIRATNE; BAIG; KHAN, 2020; VILELA JUNIOR, G. B.; LIMA, B. N.; PEREIRA, A. A.; RODRIGUES, M. F. *et al.*, 2022). O exercício físico é parte integrante de uma rotina de treinamento, que tenha como objetivo a melhoria ou desenvolvimento de capacidades físicas e/ou habilidades motoras, por esse motivo, necessita de planejamento para o manejo da sobrecarga em detrimento à sua relação com o descanso necessário para o efeito desejado; a atividade física é qualquer movimento humano que esteja elevando o consumo de energia acima dos valores basais (COOPER, 2017; MARCHETTI; LOPES, 2018). Tanto a atividade física quanto o exercício físico, apresentam-se como fundamentais para a promoção da saúde ao serem inseridos em uma rotina de comportamento saudável, podendo ser ambos analisados de forma mais precisa pela IA (LIMA; BALDUCCI; PASSOS; NOVELLI *et al.*, 2021).

A promoção da saúde também depende de um estilo de vida mais ativo, ainda mais nos dias atuais, que foram influenciados pela necessidade de mitigação do Corona Vírus de 2019 (COVID-19), gerando maior visibilidade para os danos causados pelo sedentarismo (HALL; LADDU; PHILLIPS; LAVIE *et al.*, 2021). O desenvolvimento e implementação de novas tecnologias que possam classificar o exercício físico, de acordo com a sobrecarga e suas características em relação a interdependência entre volume e intensidade, passam a ser uma ferramenta necessária para o combate ao sedentarismo e, essa tendência, inclui a necessidade de estudos que envolvam prototipagem e implementação de IA (EL-GAYAR; AMBATI; NAWAR, 2020; HASSOON; BAIG; NAIMAN; CELENTANO *et al.*, 2021; LIMA; BALDUCCI; PASSOS; NOVELLI *et al.*, 2021; MARCHETTI; LOPES, 2018).

2. JUSTIFICATIVA

As novas tecnologias podem ser a base para o desenvolvimento de novas soluções e descobertas em ambiente científico. O ser humano, limitado pela sua realidade biológica, utiliza as tecnologias para ir além dos sentidos, dessa forma expandindo os *inputs* biológicos através dos *inputs* tecnológicos, sem os quais jamais poderia ter chegado até o presente desenvolvimento. A criação de novas tecnologias inclui *inputs* cada vez mais sensíveis e capazes de gerar dados em maior quantidade e precisão, tornando a inteligência biológica limitada para fazer tal interpretação.

A IA, por suas características especializadas, direcionada para leitura de padrões ao qual está programada, é uma ferramenta capaz de interpretar volumes cada vez maiores de informação e, na medida em que novos *inputs* vão surgindo, maior a possibilidade de aprofundar as camadas de AM da RNA. Os conhecimentos científicos precisam estar inclusos nesse contexto de aplicação de novas tecnologias processadas por IA através de prototipagem, aumentando as possibilidades de interpretação de dados.

Estudiosos de vários ramos da ciência estão buscando através da prototipagem e da IA o desenvolvimento de soluções para demandas cotidianas e assim ter a possibilidade de construção de novos produtos e novas técnicas. A IA é uma ferramenta que necessita de maior poder de processamento para que possa ser melhorada, portanto, à medida em que novas tecnologias de processamento vão evoluindo, também temos novas possibilidades. Em detrimento ao constante avanço tecnológico e a previsão de continuação desse evento, é possível afirmar que ainda está muito distante de haver uma desaceleração da implementação da IA em estudos.

É fundamental, para o desenvolvimento de estudos que possam incluir a IA nas Ciências do Movimento Humano, que os conhecimentos na área sejam, a priori, implementados em forma de algoritmos e assim avaliar a inclusão da IA em soluções que possam vir a beneficiar a humanidade com a próxima geração de novas tecnologias. O desenvolvimento de novas formas de analisar o Movimento Humano através do desenvolvimento de *Hardware* em prototipagem e processamento de dados através de IA, representa uma continuidade da evolução tecnológica.

3. OBJETIVO

3.1. Objetivo Geral

Desenvolver *hardware* e algoritmo inteligente, capazes de gerarem dados, através de prototipagem baseada em tecnologia Arduino de baixo custo, para ser processado através de algoritmo inteligente baseado ferramenta K-NN (*K-Nearest Neighbors*) para classificação de exercício físico.

3.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver *Hardware* através de prototipagem de acelerômetro e giroscópio para produzir dados sobre exercícios físicos.
- Desenvolver *Hardware* através de prototipagem baseada em tecnologia Arduino de baixo custo.
- Desenvolver algoritmo inteligente baseado em K-NN capaz de classificar, através de dados produzidos a partir de prototipagem, diferentes tipos de exercício físico.

5. HIPÓTESE

H0 - O *Hardware* desenvolvido através de prototipagem baseada em Arduino, controlado por algoritmo inteligente, não é um instrumento confiável para classificar diferentes tipos de exercícios físicos.

H1 - O *Hardware* desenvolvido através de prototipagem baseada em Arduino, controlado por algoritmo inteligente, é um instrumento confiável para classificar diferentes tipos de exercícios físicos.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos dias atuais, as pesquisas estão seguindo caminhos que possam comportar e automatizar o grande fluxo e velocidade das informações constantemente produzidas pelas novas tecnologias (VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a). Com uma tendência de mais estudos envolvendo nanotecnologias, *bigdata* e tecnologias vestíveis (*wearable*), a IA se apresenta como a melhor alternativa para lidar com o volume de dados cada vez maior, ou seja, os avanços nas tecnologias vestíveis capazes de coletar dados de maneira compreensiva, juntamente com a capacidade indutiva fornecida pela inteligência artificial e pelo AM, podem potencializar a forma como cuidamos de nós mesmos e de nossa saúde (EL-GAYAR; AMBATI; NAWAR, 2020; HASSOON; BAIG; NAIMAN; CELENTANO *et al.*, 2021; RONG; MENDEZ; BOU ASSI; ZHAO *et al.*, 2020; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a).

Nesta revisão bibliográfica foram abordados os temas Aplicações da IA na Saúde, Aplicações da IA no Movimento Humano, Prototipagem no Movimento Humano e Novas Tecnologias e Tendências para o Movimento Humano.

6.1. IA na Saúde

A IA representa um novo passo para o desenvolvimento tecnológico da humanidade, pois trata-se da ampliação das possibilidades de interpretação de uma infinidade de dados através de *inputs* cada vez mais poderosos, gerando uma nova forma de entendimento científico (VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a). Na medida em que a humanidade avança com novas tecnologias, novas possibilidades de entendimento da realidade passam a compor um ciclo que desenvolve a ciência para uma próxima geração tecnológica (VILELA JUNIOR;

PASSOS, 2020a). Tal entendimento está influenciando diretamente nas ciências da saúde.

A IA é uma grande promessa para melhorar o desempenho das atividades que visam a promoção da saúde em âmbito geral, sendo esta ferramenta, o motivo do maior entusiasmo entre pesquisadores e engenheiros que tratam do tema (MADDOX; RUMSFELD; PAYNE, 2019). A IA está revolucionando os cuidados com a saúde para pacientes e populações, porém muitas questões ainda devem ser respondidas para traduzir, efetivamente, essa promessa em ação (MADDOX; RUMSFELD; PAYNE, 2019).

De acordo com o trabalho desenvolvido por Guo *et al.* (2020), as principais questões de saúde estudadas nas pesquisas que utilizam a IA são o câncer, a depressão, o Alzheimer, a insuficiência cardíaca e o diabetes, mostrando um grande potencial da IA para inúmeras formas de diagnóstico, principalmente através da implementação das RNAs, máquinas de vetores de suporte e redes neurais convolucionais, pois estas têm apresentado maior impacto nos cuidados de saúde. As pesquisas desenvolvidas na saúde, de forma geral, buscam o preenchimento de lacunas que possam vir a serem implementadas através de novos dispositivos e algoritmos que venham a representar novas aplicações clínicas (GUO; HAO; ZHAO; GONG *et al.*, 2020).

O câncer é uma doença hostil com baixa taxa de sobrevida média que necessita de um tratamento longo e muito caro devido às suas altas taxas de recorrência e mortalidade, por esse motivo, o diagnóstico precoce e preciso, assim como a previsão do prognóstico do câncer, são essenciais para aumentar as chances de sobrevida ou cura do paciente. Nesse sentido a IA, especialmente através do AM e do AP, encontrou aplicabilidade na pesquisa clínica do câncer,

onde o desempenho do diagnóstico e da previsão do câncer atingiu novos patamares (HUANG; YANG; FONG; ZHAO, 2020). De acordo com Huang *et al.* (2020), em seu estudo de revisão, o mesmo afirma que os estudos atuais apresentam a IA como um importante auxílio no diagnóstico e prognóstico do câncer, pois apresenta uma precisão maior que a dos especialistas médicos.

A depressão é uma doença grave no âmbito da saúde mental, sendo considerada da área médica, que tem um impacto debilitante na capacidade de uma pessoa pensar de forma eficaz, chegando a afetar quase 350 milhões de pessoas em todo o mundo. O diagnóstico e o tratamento representam um desafio para a medicina devido à falta de detecção precoce, muitas vezes por falta de conscientização, falta de ferramentas de diagnóstico e por falta de profissionais de saúde mental treinados (SHEIKH; SHABAN, 2020). Em pesquisa desenvolvida por Sheikh & Shaban (2020), chega-se à conclusão que muitos especialistas sugerem em seus estudos que os sistemas de IA utilizando AM podem identificar a depressão em vários estágios, possibilitando o diagnóstico precoce e auxiliando no tratamento, ajudando os profissionais de saúde mental. Para Muzammel *et al.* (2020), a complexidade do diagnóstico da depressão exige maior quantidade de diversos tipos de dados, portanto o AP deve utilizar o máximo de *inputs* possíveis para apresentarem características do quadro médico, sendo que, no referido estudo, as características dos fonemas e redes de espaços únicos fizeram parte do AP. Para Lee & Park (2022), as mudanças de comportamento direcionada a identificação de depressão, podem ser identificadas através de IA utilizando K-NN (*K-Nearest Neighbors*) em um método de AP, onde, no referido estudo, o dispositivo de identificação foi baseado em um celular.

O Alzheimer, como é conhecida, é uma doença neurodegenerativa irreversível que, progressivamente, destrói as habilidades cognitivas, chegando ao desenvolvimento de demência. Em estudo desenvolvido por Fabrizio *et al.* (2021), a IA oferece uma ampla variedade de métodos para analisar de forma robusta uma infinidade de dados complexos capazes de aprimorar o conhecimento sobre diagnóstico e tratamento do Alzheimer. Os estudos apontam a IA como uma ferramenta para as práticas clínicas, melhorando a possibilidade de diagnóstico do risco individual da ocorrência de Alzheimer de forma precoce (FABRIZIO; TERMINE; CALTAGIRONE; SANCESARIO, 2021). Para Verma *et al.* (2021), devido à grande quantidade de dados a serem considerados e para uma efetiva implementação, é recomendado que a IA utilize o AP, para interpretar o referido conjunto de dados e investigações de forma detalhada, pois estes são necessários para uma implementação bem sucedida.

A insuficiência cardíaca é uma síndrome complexa que pode resultar de um distúrbio cardíaco estrutural e funcional, ou seja, não se trata de uma única doença e seu diagnóstico correto é complexo mesmo para médicos especialistas. A insuficiência cardíaca está associada a morbidades e mortalidade, tornando fundamental a detecção precoce devido à importância na definição de intervenções médicas e cirúrgicas específicas (CHOI; PARK; ALI; LEE, 2020). Em estudo desenvolvido por Yasmin *et al.* (2021), através de RNA e RNC, o diagnóstico de insuficiência cardíaca chega a uma precisão de 85%, sendo fundamental para análise de dados brutos de técnicas de imagem cardíaca baseadas em ecocardiografia, tomografia computadorizada, ressonância magnética cardíaca, entre outras.

A Diabetes Mellitus é uma condição induzida por diabetes desregulada, que é a condição envolvendo altas taxas de glicose no tecido sanguíneo, que pode levar à falência de múltiplos órgãos em pacientes. A Diabetes Mellitus está entre as doenças mais comuns entre idosos, chegando, em 2017, a ser diagnosticada em 451 milhões de indivíduos em todo o mundo, conforme informado pela Federação Internacional de Diabetes (CHAKI; THILLAI GANESH; CIDHAM; ANANDA THEERTAN, 2020). Em estudo desenvolvido por Wang *et al.* (2020), foi identificado que as redes neurais de última geração podem detectar efetivamente a diabetes de forma clinicamente significativa e o autor sugere que para melhorar ainda mais a precisão do diagnóstico das RNAs, os pesquisadores precisam desenvolver novos algoritmos em vez de aumentar os tamanhos das amostras dos conjuntos de treinamento ou otimizar a qualidade dos *inputs*.

A vigilância epidemiológica também é um tema promissor no campo da implementação da IA na saúde pública devido ao aumento constante de novas abordagens (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ; ZANIN; MENASALVAS-RUIZ, 2019; THIÉBAUT; THIESSARD, 2018). Para Rodríguez-González *et al.* (2019), a compreensão da IA como ferramenta para a saúde, do ponto de vista epidemiológico e do controle de surtos e de doenças, tendo mais financiamento disponível se tornará, não apenas o centro das atenções entre as engenharias direcionadas a saúde, mas a fonte de soluções inovadoras para a saúde pública.

Nos últimos anos, com o evento do surto pandêmico do COVID-19, o diagnóstico baseado em IA apresentou-se como uma importante ferramenta capaz de rastrear com boa precisão os danos pulmonares de pacientes afetados pelo vírus através de imagem de Raio-X utilizando Redes Neurais Convolucionais (RNC) (SHI; WANG; SHI; WU *et al.*, 2021). Esse exemplo

demonstra a necessidade de constantes implementações da IA no contexto do diagnóstico médico, visto que, além da capacidade de implementação da RNC para diagnóstico, outros exames são necessários para dar precisão na identificação do COVID-19, gerando maior base para o entendimento das necessidades do tratamento, ou seja, torna-se possível alimentar com todos esses dados uma RNA para melhorar o diagnóstico e o tratamento (SHI; WANG; SHI; WU *et al.*, 2021).

Para Noorbakhsh-Sabet *et al.* (2019), a medicina clínica sempre exigiu que os médicos lidassem com grandes quantidades de dados, desde histórico e exames físicos até estudos laboratoriais e de imagem e, agora, dados genéticos, ou seja, a capacidade de gerenciar essa complexidade sempre destacou os melhores médicos. A capacidade do AM de transformar dados em *insights* contrafaz o campo da medicina, modificando o trabalho que envolve o diagnóstico das patologias, pois ao tratar-se de algoritmos capazes de se auto aperfeiçoar com experiência e aprender continuamente com novos dados e *insights*, dessa forma, encontra respostas para uma série de perguntas difíceis de concluir com tantos dados. A medicina de precisão é um conceito baseado na implementação da IA através de AM oferecidas por algoritmos que tornam-se cada vez mais complexos e sempre acompanhado por desafios computacionais (NOORBAKHSH-SABET; ZAND; ZHANG; ABEDI, 2019).

A ciência direciona o desenvolvimento de novas tecnologias, como as que possibilitam o monitoramento da saúde em vida livre, em geral através de tecnologias vestíveis (*wearable*). As nanotecnologias estão possibilitando maior proximidade e interação constante das *wearable* com os seus usuários, possibilitando o monitoramento constante da saúde (ZHENG; TANG; OMAR; HU

et al., 2021). Para Zheng *et al.* (2021), o desenvolvimento de tecnologias *wearable* para monitorar saúde em vida livre, depende de coleta de dados de alta precisão que apresentem segurança e confiabilidade para o usuário; de dados de saúde abrangentes em parâmetros fisiológicos e biomecânicos específicos inerentes aos mesmos para treinamento e referência da IA; e de Algoritmos de IA em constante modernização para analisar dados de saúde e melhorar a eficiência do diagnóstico de doenças e qualidade do tratamento. A diminuição de custos com tecnologias cada vez mais precisas pode ser a chave para uma real popularização do acesso a saúde global.

A popularização da IA para a promoção da saúde representa um grande desafio para regiões mais pobres do planeta, que tendem a permanecer desatendida por esses recursos tecnológicos. Apesar dos desafios atuais, a IA pode ser uma ferramenta para transformar os serviços de saúde em países e localidades com poucos recursos (WAHL; COSSY-GANTNER; GERMANN; SCHWALBE, 2018). Muitos obstáculos do sistema de saúde podem ser superados com o uso de IA e outras tecnologias emergentes. Mais pesquisas e investimentos no desenvolvimento de ferramentas de IA adaptadas a ambientes com poucos recursos, podem acelerar a realização de todo o potencial da IA para melhorar a saúde global (WAHL; COSSY-GANTNER; GERMANN; SCHWALBE, 2018).

Os novos desafios tecnológicos para a promoção da saúde passam pela necessidade de estimular a prática do exercício físico, visto que o sedentarismo tem despontado como um grande problema de saúde pública mundial que não está aumentando somente em países ricos (BAUMAN; PETERSEN; BLOND; RANGUL *et al.*, 2018). A promoção do exercício físico pode ter uma alternativa

de maior alcance através das tecnologias *wearable*, pois tende a ser uma forma menos onerosa de controlar e estimular o treinamento, coletando dados, inclusive em vida livre. Nesse contexto de popularização de novas tecnologias, é importante uma busca constante por alternativas economicamente viáveis que possam ajudar a diminuir o tempo de comportamento sedentário populacional (BAUMAN; PETERSEN; BLOND; RANGUL *et al.*, 2018).

6.2. Aplicações da IA no Movimento Humano

Após o início da mais recente revolução tecnológica, baseada em IA, *bigdata*, *wearables* e nanotecnologias, passamos a viver um período onde as aplicações dessas tecnologias não parecem ter precedentes (VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a; ZAGO; KLEINER; FEDEROLF, 2021). Os dispositivos baseados em nanotecnologias estão fomentando novas *wearable* que, por sua vez, alimentam o *bigdata* com grande quantidade de dados possíveis de serem interpretados somente por IA, gerando o que, segundo Zago *et al.* (2021), representa a “eficácia irracional dos dados” em um terreno fértil no estudo de sistemas biológicos e físicos complexos, entre eles a ciência do movimento humano.

O Movimento Humano e o controle cognitivo estão imersos em um ambiente de complexidade que envolve um entendimento multidimensional não linear. As abordagens de IA envolvendo o aprendizado de máquina nos permitem abraçar uma parte dessa complexidade referente ao que podemos entender com a tecnologia disponível, trabalhando em três tarefas complementares que são a modelagem preditiva, a classificação e a redução de dimensionalidade (ZAGO; KLEINER; FEDEROLF, 2021).

A IA segue a tendência de evoluir de acordo com os estudos que buscam o entendimento sobre a inteligência biológica e podemos entender que o ser humano permanece no centro das atenções dos modelos inteligentes (DIMITROPOULOS; DARAS; MANITSARIS; FOL LEYMARIE *et al.*, 2021).

Seguindo essa tendência histórica, que surge com a primeira formulação do conceito de IA, até os dias atuais, o entendimento sobre as conexões existentes no sistema nervoso e sua forma complexa de tomada de decisões envolvendo o aprendizado contínuo demonstram uma colaboração natural entre a IA e o homem (DIMITROPOULOS; DARAS; MANITSARIS; FOL LEYMARIE *et al.*, 2021).

As *wearable* se apresentam como ferramentas possíveis de serem utilizadas para coleta de dados do movimento humano em vida livre, pois tratam-se de dispositivos miniaturizados ou de nanotecnologias que não geram sobrecarga e alterações nas rotinas diárias (LIMA; BALDUCCI; PASSOS; NOVELLI *et al.*, 2021). Atualmente as tecnologias mais aplicadas nesse contexto são o monitor de frequência cardíaca, o acelerômetro e o *Global Positioning System* (GPS), comumente inseridos em um único dispositivo, podendo ser o *smartphone* ou o *smartwatch* (MEKRUKSAVANICH; JANTAWONG; JITPATTANAKUL, 2022).

Os *smartphones* e *smartwatches*, facilmente podem ser identificados como aparelhos populares entre pessoas que podem ter acesso a esse tipo de tecnologia. Estes aparelhos podem ser considerados tecnologias *wearable*, onde os sensores integrados fornecem uma grande quantidade de dados disponibilizados diretamente em *bigdata* e que podem ser utilizadas para reconhecimento do movimento humano (MEKRUKSAVANICH; JANTAWONG;

JITPATTANAKUL, 2022). Algoritmos de aprendizado profundo podem extrair informações abstratas para a categorização do movimento humano na vida cotidiana. De acordo com estudo desenvolvido por Mekruksavanich *et al.* (2022), uma abordagem para identificar e classificar o movimento humano baseada em rede neural residual profunda unidimensional, utilizando *smartphones* e *smartwatches* chegou a apresentar uma precisão geral de 94,15%. Os dados sugerem grande acurácia dos referidos dispositivos para coletas de dados em vida livre.

Além dos estudos que identificam o comportamento do Sistema Nervoso Humano para desenvolver a IA, existem apontamentos para uma necessidade da mesma se desenvolver a partir de estudos que envolvem o comportamento inteligente humano, criando ferramentas de mais fácil interação com a subjetividade da inteligência biológica (LIMA; BALDUCCI; PASSOS; NOVELLI *et al.*, 2021). O entendimento mais qualitativo presente na inteligência biológica pode ser representado pela Lógica Fuzzy, pois trata-se de uma tentativa de tornar dados matemáticos mais fáceis de serem entendidos pela lógica humana, substituindo cálculos complexos pela percepção atribuída a valores simples como entre zero e um. Para Lima *et al.* (2021), a IA utilizando Lógica Fuzzy facilita a linguagem de programação para profissionais da saúde que estudam o movimento humano, pois estes não possuem formação direcionada para determinados desafios matemáticos, sendo uma ferramenta aplicável, porém representando novos desafios para os profissionais do futuro. Na busca pela maior interação dos profissionais do movimento humano com a IA, a Lógica Fuzzy, representa uma linguagem matemática mais subjetiva em seu entendimento, porém mais prática para o entendimento do desafio de

aplicabilidade, devendo esses profissionais, em um futuro próximo, aumentarem o engajamento nos estudos que envolvem programação e IA (LIMA; BALDUCCI; PASSOS; NOVELLI *et al.*, 2021).

Os dados de movimento humano extraídos das tecnologias *wearables* nos estudos que são desenvolvidos na atualidade, estão sendo usados para derivar medidas objetivas e quantitativas do comportamento motor humano (PEREZ-POZUELO; SPATHIS; CLIFTON; MASCOLO, 2021). Tais sensores superam as limitações do autorrelato ou observações dos sistemas sensoriais humanos com o objetivo de relacioná-las com desfechos clínicos para aplicar os achados à medicina preditiva e preventiva. A aplicação da IA utilizando micro e nano tecnologias de sensores, e processamento de sinal para dados de *wearable*, levou a um melhor reconhecimento do exercício físico humano assim como de características comportamentais (PEREZ-POZUELO; SPATHIS; CLIFTON; MASCOLO, 2021).

Em estudo desenvolvido por Nithia & Nallavan (2021), as tecnologias *wearable* foram divididas em quatro categorias, que são baseados no monitoramento de desempenho, de lesão esportiva, de parâmetros biométricos e de eficiência energética. As categorias apresentadas sugerem considerações e oferecem muitas oportunidades para o avanço da tecnologia *wearable* com o objetivo de permitir a medição não invasiva dos parâmetros fisiológicos e biomecânicos do exercício físico (NITHYA; NALLAVAN, 2021).

A implementação de camadas recorrentes, de convolução e de K-NN tem demonstrado aumentar a precisão da IA em classificadores de movimento humano utilizando tecnologias *wearable* (KH; IBRAHIM, 2021; YU; QIN; YIN, 2018). As referidas ferramentas atuam como extratores de recursos e fornecem

representações abstratas dos dados do sensor de entrada em mapas de recursos, com a finalidade de melhorar a precisão do reconhecimento e diminuir a dependência de recursos projetados para resolver problemas de reconhecimento cada vez mais complexos, introduzindo uma nova estrutura para reconhecimento de atividade humana vestível que combina camadas recorrentes, convolucionais e K-NN. Geralmente, a rede composta apresenta melhorias em comparação com os métodos convencionais de aprendizado de máquina (YU; QIN; YIN, 2018).

Estudiosos na China, em busca de novos modelos de atendimento na promoção esportiva da Educação Física escolar, desenvolveram um modelo de reconhecimento de intensidade de movimento que possui 97% de precisão, utilizando acelerometria e IA (LIU; WILCZYŃSKA; LIPOWSKI; ZHAO, 2021). De acordo com Liu *et al.* (2021), a relação diretamente proporcional da aceleração é comparada a quantidade de energia necessária para a execução do exercício físico proposto, tornando a acelerometria uma ferramenta para a análise da sobrecarga dos exercícios físicos. O referido estudo, fornece uma nova perspectiva para promover o desenvolvimento inteligente da Educação Física, visto que a intensidade dos exercícios físicos geram referencial para a compreensão da sobrecarga necessária para o treinamento de capacidades físicas (LIU; WILCZYŃSKA; LIPOWSKI; ZHAO, 2021).

6.3. Prototipagem no Movimento Humano

A prototipagem é um processo de transformação das ideias em possibilidades tangíveis a partir de uma fase de testes que pode envolver eletrônica, programação, design ou outras possibilidades (KONDAVEETI;

KUMARAVELU; VANAMBATHINA; MATHE *et al.*, 2021; MAIA NETO; SILVA; SILVA; SOUSA, 2021). De acordo com Kondaveeti *et al.* (2021), atualmente temos várias possibilidades de implementar estudos através de prototipagem, sendo esta uma possibilidade quase ilimitada de desenvolvimento de estudos.

Na atualidade, a manufatura de materiais utiliza tecnologias de produção que se aliam e trazem novos benefícios tecnológicos advindos dês do processo de fabricação, onde o produto final pode atender as propriedades exigidas em aplicações de uso final (AHMED, 2019). Temos uma grande variedade de materiais possíveis de serem incluídos no desenvolvimento da prototipagem como polímeros, cerâmicas, metais e ligas, onde podem ser tratadas com diferentes técnicas de manufatura que representam novos avanços e desafios de diferentes perspectivas (AHMED, 2019; CAMBURN; VISWANATHAN; LINSEY; ANDERSON *et al.*, 2017). Inúmeras tendências de produção de materiais e de partes para projetos podem alavancar novas possibilidades de desenvolvimento de tecnologias, tornando possível o desenvolvimento de novos produtos (CAMBURN; VISWANATHAN; LINSEY; ANDERSON *et al.*, 2017).

As terapias direcionadas a reabilitação podem ter necessidades atendidas através de prototipagem que incluam monitoramento e controle da carga total de exercícios físicos. Estudo desenvolvido por Soleimani *et al.* (2019), uma órtese robótica baseada em controlador, vários sensores e um mecanismo de controle e restrição de movimentos foram utilizados para promover a reabilitação fisioterapêutica do paciente. No referido estudo, os sinais Eletromiográficos (EMG) foram interpretados por IA para identificar quando os músculos estavam sendo ativados através do comando do movimento, que passaram a ser compensados por um robô que controla o torque articular; durante todo o

processo o controlador coleta dados sobre a melhora da amplitude de movimento, a duração da sessão de terapia com o protótipo, os sinais EMG e os eventos inesperados (SOLEIMANI; ZOHOOR; YAKHDANI; HERAVI *et al.*, 2019).

Dentre as possibilidades de prototipagem e inclusão da robótica como auxílio para o movimento humano é possível de se identificar estudos que se direcionam para a criação de exoesqueletos. Para Song *et al.* (2019), em estudos que visam melhorar a qualidade de vida de cadeirantes através de prototipagem, a dificuldade em adaptar as cadeiras de rodas à terrenos complexos, contribui com o aparecimento de efeitos adversos na recuperação motora dos membros inferiores que se acumulam a geração de feridas, a atrofia muscular e falhas nos movimentos de longa distância. No referido estudo temos a proposta de utilização das tecnologias robóticas aplicadas a prototipagem de um exoesqueleto que permite a posição em pé para cadeirantes. Para o autor, o sistema de controle utilizando prototipagem será desenvolvido dependente dos sensores que, ao serem atualizados para novas tecnologias, podem aumentar a interação compatível entre o robô e o corpo humano (SONG; TIAN; DAI, 2019).

Para o alto rendimento esportivo, os detalhes que envolvem o processo de preparação dos atletas, sugerem a necessidade de ter o máximo de dados possíveis sobre a relação dos mesmos com todo exercício físico que ocorrem tanto durante as sessões de treinamento quanto na vida livre. Com intuito de ter o máximo de dados extraídos da rotina dos atletas, o estudo desenvolvido por Abdavi *et al.* (2019), utilizou prototipagem através de plataforma Arduino e diversos tipos de sensores para registrar o desempenho e os exercícios físicos dos atletas estudados. No referido estudo, foi identificado a importância do

conhecimento sobre prototipagem para extração do máximo de dados inerentes aos exercícios físicos dos atletas, em consonância ao desenvolvimento científico que busca novas aplicabilidades para as *wearable* com base na internet das coisas. Os sensores, que se tratam de dispositivos pequenos e possíveis de serem adquiridos para serem suportados pela plataforma Arduino representam uma alternativa rápida e economicamente viável para possibilidades de desenvolvimento de estudo (ABDAVI; KHODADADI; HEIDARI PARAM; PASHAIE, 2019).

6.4. Novas Tecnologias e Possíveis Tendências para o Movimento Humano

De acordo com Schwalbe & Wahl (2020), os estudos científicos sobre IA precisam incorporar o ser humano em sua complexidade a partir de uma abordagem que avalie as necessidades. No mesmo contexto, deve-se ponderar sobre o acesso equitativo a conjuntos de dados representativos inerentes a saúde, estabelecer sistemas para avaliar e relatar as intervenções orientadas por IA na saúde, desenvolver uma agenda de pesquisa que inclua questões relacionadas à implementação e ao sistema sobre a implantação de novas intervenções orientadas por IA e desenvolver e implementar padrões e diretrizes regulatórias, econômicas e éticas globais que protejam os interesses das pessoas que passam a ter assistência baseada nessas tecnologias. Essas recomendações podem ajudar a melhorar a saúde em ambientes de baixa e média renda (SCHWALBE; WAHL, 2020).

Ao identificar que a ciência também busca o desenvolvimento de novas tecnologias aplicáveis, podemos compreender que os possíveis interesses obscuros também precisam ser identificados, pois novos produtos despertam o

interesse de nichos de mercado e envolvem ferramentas que podem ou não estar dando *feedback* para uma ferramenta de controle maior (WAGNER, 2021). Para além do entendimento sobre o que é o cotidiano dos negócios, de acordo com Wagner (2021), líderes que apresentam traços de personalidade como maquiavelismo, narcisismo, psicopatia e sadismo, podem demonstrar um ponto de vista em que a combinação de aumento de automação, no que tange a IA, pode oferecer uma forma tecnologicamente viável de dimensionar métodos gerenciais obscuros, isso inclui possibilidade de utilização da leitura do Movimento Humano que também representa uma assinatura biométrica.

Os dados biométricos que caracterizam a individualidade de cada ser humano também estão presentes nos atributos do movimento humano, tornando, os dados possíveis de serem extraídos a partir de novas tecnologias controladas por IA, uma ferramenta para identificação individual, comportamental e funcional (WAGNER, 2021; YU, 2021; ZHANG; LEE, 2018). Portanto, de um modo geral, as características do movimento humano coletados e interpretados por ferramentas inteligentes precisam estar sob a observação e controle da ética, da filosofia e da segurança, apresentando definições claras da finalidade, pois estão envolvidas em questões de saúde, *performance*, segurança pública, dentre outras questões (ALRAHAWE; HUMBE; SHINDE, 2019; EDEN; BRÄCKLEIN; IBÁÑEZ; BARSAKCIOGLU *et al.*, 2022; GAVRILOVA; AHMED; BARI; LIU *et al.*, 2021; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020a; WAGNER, 2021; YU, 2021; ZHANG; LEE, 2018).

Com a tendência de desenvolvimento de novas tecnologias baseadas em *wearable* na busca por dados inerentes a vida livre envolvendo o movimento humano, os estudos tem se direcionado para encontrar formas economicamente

viáveis em ferramentas úteis para melhorar os produtos possíveis de serem produzidos em escala industrial (KAMIO; AIHARA; MINORIKAWA, 2020; KIM; JANG; CHO; WOO *et al.*, 2018). Os dados de acelerometria coletados através de smartphones e *smartwatches* tem demonstrado grande relevância para a identificação de exercícios físicos sendo de grande relevância para atividades cotidianas envolvendo deslocamento e postura (KAMIO; AIHARA; MINORIKAWA, 2020; KIM; JANG; CHO; WOO *et al.*, 2018).

Ao tratar do alto desempenho envolvido na *performance* de atletas, os detalhes envolvidos na rotina de preparação dos mesmos, exigem conhecimento sobre o máximo de dados possíveis de serem extraídos em todas os exercícios físicos realizados dentro e fora da rotina de treinamento (ABDAVI; KHODADADI; HEIDARI PARAM; PASHAIE, 2019). Com esse intuito, a literatura apresenta dados pertinentes, para controle de rotina e treinamento de atletas, utilizando GPS, número de passos e monitor cardíaco, como apresentado no estudo de Abdavi *et al.* (2019), que utilizou um sistema de prototipagem baseado em plataforma Arduino que utiliza a internet para expor dados em tempo real em um computador. O referido equipamento de coleta de dados possui uma massa total inferior a 100 g e uma frequência de aquisição de 5 Hz, demonstrando a possibilidade de ser utilizado como *wearable*(ABDAVI; KHODADADI; HEIDARI PARAM; PASHAIE, 2019).

Além da *performance* e da saúde direcionada para o tratamento e prevenção de doenças, o exercício físico tem o propósito de manutenção e evolução das capacidades físicas e habilidades motoras, sendo úteis para a o lazer, trabalho e tarefas cotidianas diversas (KERCHER; KERCHER; BENNION; LEVY *et al.*, 2022). De um modo geral a maioria das pessoas não estão utilizando

o exercício físico para tratamento de doenças ou *performance* esportiva, tornando uma necessidade de saúde dentro da amplitude que o termo sugere (KERCHER; KERCHER; BENNION; LEVY *et al.*, 2022). As novas tecnologias de treinamento e de acessórios utilizando *wearables* já apresentam uma grande relevância para as tendências atuais do *fitness* de acordo com estudo apresentados pela *American College of Sports Medicine* com as tendências para 2022. Os dados que retratam as principais tendências *fitness* mundiais, em um reporte dos países Austrália, Brasil, China, México e Estados Unidos e do continente europeu, para 2022 estão apresentados na tabela 01.

Tabela 01. As 20 principais tendências *fitness* mundiais para 2022.

| Nº | Austrália | Brasil | China | Europa | México | Estados Unidos |
|----|---|---|--|---|---|---|
| 1 | Treinamento funcional de condicionamento físico | <i>Personal training</i> | Exercício para perda de peso | Academias de ginástica em casa | Exercício para perda de peso | Tecnologia <i>wearable</i> |
| 2 | Treinamento de força com pesos livres | Exercício para perda de peso | Dieta Saudável | Exercício como remédio | Treinamento funcional de condicionamento físico | Academias de ginástica em casa |
| 3 | Programas de <i>fitness</i> para idosos | <i>Personal training on-line</i> | Exercício e esporte para crianças e adolescentes | <i>Personal training</i> | <i>Personal training</i> | Atividades ao ar livre |
| 4 | Treinamento de exercícios em grupo | Programas de recuperação pós-COVID | Aptidão aeróbica | Tecnologia <i>wearable</i> | Treinamento de força | Treinamento de força com pesos livres |
| 5 | Empregando profissionais de exercício registrados | Treinamento de peso corporal | Estúdios de <i>fitness</i> boutique | Treinamento de peso corporal | Treinamento de peso corporal | Exercício para perda de peso |
| 6 | Treinamento de peso corporal | Programas de <i>fitness</i> para idosos | Treinamento de core | Treinamento intervalado de alta intensidade | Equipes multidisciplinares | Treinamento intervalado de alta intensidade |
| 7 | <i>Personal training</i> | Medicina do estilo de vida | Treinamento de exercícios em grupo | Aulas de ginástica <i>on-line</i> ao vivo e sob demanda | Atividades ao ar livre | Aulas de ginástica <i>on-line</i> ao vivo e sob demanda |
| 8 | Treinamento intervalado de alta intensidade | Atividades ao ar livre | Treinamento funcional de condicionamento físico | Exercício para perda de peso | Treinamento específico para um esporte | <i>Personal training</i> |
| 9 | Tecnologia <i>wearable</i> | Treinamento funcional de condicionamento físico | Treinamento de força com pesos livres | Atividades ao ar livre | Treinamento em circuito | Treinamento de peso corporal |
| 10 | Treinamento pessoal em pequenos grupos | Academias de ginástica em casa | Avaliação física de resultados | Treinamento funcional de condicionamento físico | Prevenção / reabilitação funcional de soluções | Coaching de saúde/bem-estar |
| 11 | Serviços de <i>fitness</i> inclusivos | Aulas pós reabilitação | Exercício como Remédio | <i>Personal training on-line</i> | Licenciamento para profissionais de <i>fitness</i> | Programas de <i>fitness</i> para idosos |
| 12 | Atividades ao ar livre | Coaching de saúde/bem-estar | Mobilidade/dispositivos miofasciais | Treinamento de banda de resistência | Novas atividades/adaptação de serviços pós-pandemia pelo COVID-19 | Aplicativos de exercícios |

| | | | | | | |
|----|---|---|---|---|--|---|
| 13 | Exercício como remédio | Treinamento pessoal em pequenos grupos | Aplicativos de exercícios | Programas de <i>fitness</i> para idosos | Treinamento intervalado de alta intensidade | loga |
| 14 | Treinamento de core | Treinamento intervalado de alta intensidade | Prevenção e reabilitação de esportes | Licenciamento para profissionais de <i>fitness</i> | Treinamento de força com pesos livres | Empregando profissionais de <i>fitness</i> certificados |
| 15 | Exercício para perda de peso | Treinamento de força com pesos livres | Licenciamento para profissionais de <i>fitness</i> | Coaching de saúde/bem-estar | Tecnologia <i>wearable</i> | Treinamento funcional de condicionamento físico |
| 16 | Academias de ginástica em casa | Mobilidade/dispositivos miofasciais/rolos | Empregando profissionais de <i>fitness</i> certificados | Empregando profissionais de <i>fitness</i> certificados | Programas de promoção da saúde no local de trabalho e bem-estar no local de trabalho | Exercício como remédio |
| 17 | Pilates | Tecnologia <i>wearable</i> | <i>Personal training</i> | Programas de recuperação pós-COVID | Acompanhamento dos resultados do treinamento | <i>Personal training on-line</i> |
| 18 | Aulas pós reabilitação | Integração clínica/aptidão médica | Atividades ao ar livre | Integração clínica/aptidão médica | Treinamento em grupo | Treinamento de exercícios em grupo |
| 19 | Aulas de ginástica <i>on-line</i> ao vivo e sob demanda | Clubes de caminhada/corrída/corrida/ciclismo | Treinamento de peso corporal | Clubes de caminhada/corrída/corrida/ciclismo | Treinamento | Licenciamento para profissionais de <i>fitness</i> |
| 20 | Coaching de saúde/bem-estar | Aulas de ginástica <i>on-line</i> ao vivo e sob demanda | Educação certificada para profissionais de <i>fitness</i> e saúde | Estúdios de <i>fitness</i> boutique | Treinamento em casa com acompanhamento personalizado de profissionais | Medicina do estilo de vida |

Fonte: Adaptado de Kercher; Kercher; Bennion; Levy *et al.* (2022)

As tecnologias surgem a partir de novos conhecimentos aplicáveis a realidade mercadológica e industrial, para resolver demandas identificáveis pelas tecnologias disponíveis na atualidade, gerando um ambiente complexo de desenvolvimento contextualizado pelas necessidades e interesses humanos vigentes (VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020b). De acordo com o exposto neste item, é notório a necessidade de tecnologias *wearables* para identificar o comportamento humano em vida livre, da mesma forma que os referidos dados alimentam novas necessidades de desenvolvimento tecnológico. Estamos vivendo um momento complexo, onde as novas tecnologias estão criando extensos bancos de dados sobre o comportamento, incluindo o do Movimento Humano, sendo admitidamente uma tendência identificável (KERCHER; KERCHER; BENNION; LEVY *et al.*, 2022; VILELA JUNIOR; PASSOS, 2020b; WAGNER, 2021).

7. MÉTODOS

7.1. Casuística

Esta pesquisa caracteriza-se por um estudo exploratório de análise quanti-qualitativa a partir da criação de protótipo e algoritmo inteligente de tecnologias disponíveis para desenvolvimento de dispositivo capaz de classificar diferentes tipos de exercícios físicos.

7.2. Amostra

A amostra não probabilística, intencional e de conveniência, segundo classificação proposta por Lakatos & Marconi (2021), foi composta por 16 sujeitos de ambos os sexos (11 do sexo masculino e 5 do sexo feminino) com idade média de 29,19 anos ($\pm 4,23$), estatura média de 1,73 m ($\pm 0,14$), massa média de 77,50 Kg ($\pm 16,89$) e Índice de Massa Corporal (IMC) médio de 25,56 Kg/m² ($\pm 2,80$); todos participaram dos procedimentos experimentais. O número de sujeitos foi baseado em escolha metodológica prévia, definida durante testes piloto somado a utilização do *software Sample Size Calculator*. O tamanho do efeito foi calculado através da fórmula de Cohen (1992). As características de idade e dados antropométricos da amostra, discriminadas por sexo, encontram-se na tabela 02.

Tabela 02. Características antropométricas da amostra.

| | Idade (anos) | Massa (Kg) | Estatura (m) | IMC (Kg/m ²) |
|----------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------|
| Masculino (11) | | | | |
| Média | 28,09 | 84,14 | 1,79 | 26,19 |
| DP | $\pm 4,01$ | $\pm 14,28$ | $\pm 0,11$ | $\pm 2,92$ |
| Feminino (5) | | | | |
| Média | 31,60 | 62,90 | 1,61 | 24,16 |
| DP | $\pm 4,04$ | $\pm 13,13$ | $\pm 0,11$ | $\pm 2,13$ |
| Geral (16) | | | | |
| Média | 29,19 | 77,50 | 1,73 | 25,56 |
| DP | $\pm 4,23$ | $\pm 16,89$ | $\pm 0,14$ | $\pm 2,80$ |

Fonte: Próprio autor.

Todos os participantes da amostra eram estudantes de Educação Física, fisicamente ativos e conheciam previamente os exercícios propostos neste estudo. Apesar de conhecerem os exercícios, os mesmos não compõem um rigor periódico em seus exercícios físicos cotidianos.

7.3. Critérios de inclusão e exclusão

Foram utilizados como critérios de inclusão dos indivíduos de ambos os sexos que participaram do protocolo experimental, não possuir doenças ou qualquer tipo de lesão osteomioarticular e nervosa; não possuir necessidades de adaptação para a prática de exercício físico; estar praticando exercício físico a um ano ou mais; ser conhecedores dos exercícios físicos propostos no protocolo experimental; ser adultos jovens (entre 20 e 35 anos); aceitar participar do estudo, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

7.4. Aspectos éticos

A presente pesquisa foi submetida no Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) como parte do projeto integrado: “Métodos da Inteligência Artificial Aplicados na Análise do Movimento Humano”, sob o protocolo CAAE nº 33912120.9.0000.5507 e aprovada sob parecer nº 4.126.546. Todos os sujeitos participantes da pesquisa assinaram o TCLE.

Como forma de proteção do anonimato o *software* não possui nenhuma forma de identificação do avaliado, preservando sua identidade.

7.5. Eventuais riscos

O presente estudo apresenta riscos controlados e, possivelmente, remotos, visto que os participantes são conhecedores e praticantes dos exercícios, o protocolo experimental se inicia com a exposição dos eventos que seguem, deixando claro a atividade proposta. Todo protocolo experimental foi acompanhado e instruído pelo pesquisador responsável, que se manteve

disponível para reagir a qualquer intercorrência em prol da segurança dos participantes.

7.6. Instrumentos

A construção do *software* foi baseada na aplicação de algoritmo inteligente K-NN, escrito em linguagem de programação *Python*TM e utilizando o *Software Visual Studio Code*[®] desenvolvido pela *Microsoft*[®]. Para programar o controlador baseado em plataforma Arduino, foi utilizado o *software* Arduino IDE. Foi necessário a utilização do *Microsoft Excel*[®] para tratamento dos dados na primeira fase da etapa computacional.

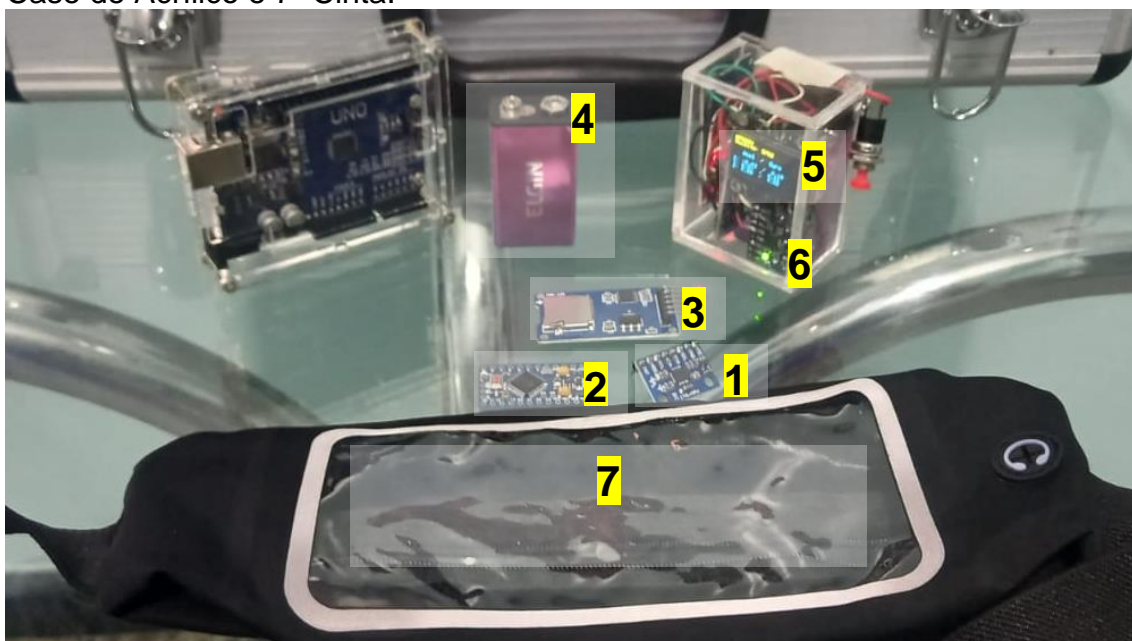
O K-NN foi o método de classificação utilizado na programação da IA, sendo este, baseado em agrupamento de coordenadas no espaço de características, ou seja, a classificação ocorre verificando seus “K” vizinhos previamente classificados. A distância euclidiana dos valores de 6 dimensões (3 eixos de acelerometria linear e 3 eixos de acelerometria angular), geram o conjunto de dados de códigos de exercícios físicos para cada linha que é adicionada ao treinamento da IA.

O *Hardware* foi desenvolvido através de prototipagem utilizando plataforma Arduino, onde o sensor de aceleração linear (acelerômetro) e aceleração angular (giroscópio) atende pelo modelo MPU6050, que é um dispositivo de 6 eixos integrado que combina um giroscópio de 3 eixos, acelerômetro de 3 eixos e um *Digital Motion Processor*TM em uma única placa.

O MPU-6050 tem uma tensão de alimentação de 2,375V-3,46V, Interfaces seriais I²C, possui três conversores analógico-digitais de 16 bits para digitalizar as saídas do giroscópio e três de 16 bits para digitalizar as saídas do acelerômetro e, para rastreamento de precisão de movimentos rápidos e lentos, as peças apresentam uma faixa de escala total do giroscópio programável de $\pm 250^\circ/\text{seg}$, $\pm 500^\circ/\text{seg}$, $\pm 1000^\circ/\text{seg}$ e $\pm 2000^\circ/\text{seg}$ e uma faixa de escala completa do acelerômetro programável de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ e $\pm 16g$. A placa MPU-6050 apresenta uma tolerância de choque robusta de 10.000g e possui filtros passa-baixa programáveis para os giroscópios, acelerômetros e o sensor de temperatura no chip.

Os demais componentes para dar suporte ao MPU-6050 na prototipagem são a placa Arduino Pró Mini, o Módulo Cartão Micro SD, a Bateria Recarregável de 9 volts, o Display *Organic Light-Emitting Diode* (OLED), o Case de Acrílico e a Cinta. O Arduino Pro Mini é um microcontrolador baseado em chip único ATmega328p, frequência de 16MHz, opera entre 1,8 e 5,5 volts, com 8 entradas analógicas e com 14 saídas/entradas digitais, sendo que 6 podem ser usadas como saídas PWM. O Módulo Cartão Micro SD pode fazer leitura e gravação de dados do Arduino diretamente em um SD *card*, utilizando para comunicação interface SPI, o nível de sinal é de 3,3 volts e a tensão de operação entre 3,3 volts e 5,5 volts. A Bateria Recarregável de 9 volts utilizada foi da marca Elgin com carga de 250mAh. O Display OLED possui um tamanho de 0,96 polegadas de tela, a comunicação ocorre por via I²C e a tensão de operação é entre 2,2 volts e 5,5 volts. Para dar suporte a montagem dos componentes eletrônicos na prototipagem, foi necessário um case de acrílico, devido ser um material de baixa condutibilidade elétrica e que facilita a verificação dos componentes em possíveis intercorrências; uma cinta com elástico, apropriada para posicionar o protótipo no tronco dos participantes. Todos os componentes estão apresentados na figura 01.

Figura 01. Componentes para a construção do *Hardware* de coleta baseados em tecnologia Arduino. 1 - MPU-6050 (Acelerômetro e Giroscópio), 2 - Placa Arduino Pró Mini, 3 - Gravador de SD, 4 - Bateria de 9volts, 5-Display OLED, 6- Case de Acrílico e 7- Cinta.

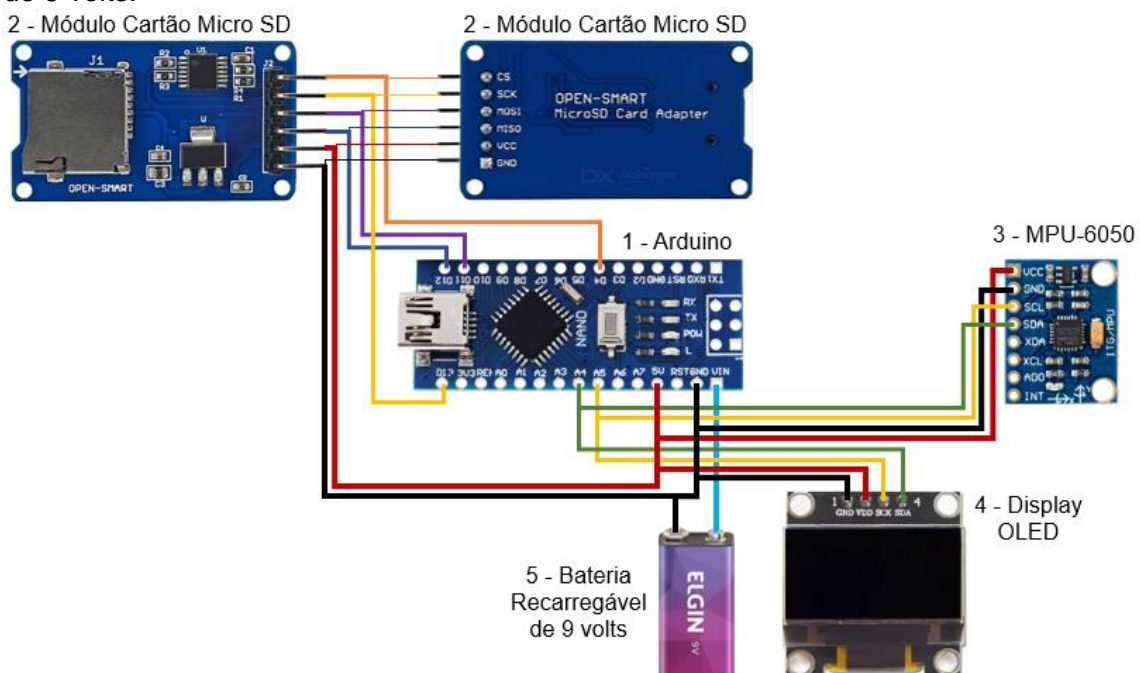


Fonte: Próprio autor.

A coleta de dados seguiu um protocolo experimental que utilizou apenas a sobrecarga do próprio corpo de cada participante, em espaço aberto sem obstáculos para a execução de cada exercício físico proposto.

Para a montagem do protótipo temos as ligações de determinadas portas de saída e entrada entre componentes, como ocorrem entre o MPU-6050 e o Arduino Pró Mini: porta “SCL” na porta analógica “A5” e porta “SDA” na porta analógica A4”; entre o Módulo Cartão Micro SD e o Arduino Pró Mini: Porta “seletora de escravo master (CS)” na porta digital “D4”, porta “SCK” na porta digital “D13”, porta “MOSI” na porta digital “D11”, porta “MISO” na porta digital “D12”; entre o Display OLED e o Arduino Pró Mini: porta SCK na porta analógica “A5” e porta “SDA” na porta analógica A4”. Todas as entradas de alimentação “VCC” ou “VDD” dos componentes foram ligadas a saída de alimentação “5V” do Arduino Pró Mini e o filtro graduado de densidade neutra, chamado de “GND”, ligados diretamente à Bateria Recarregável de 9 volts. A Bateria Recarregável de 9 volts é ligada diretamente ao Arduino Pró Mini para alimentação do sistema a partir da entrada “VIN”. As ligações entre os componentes foram realizadas através de técnicas de *jumps*, segundo esquema visualizado na figura 02.

Figura 02. Ligações entre componentes para montagem de protótipo. 1 – Arduino, 2 - Módulo Cartão Micro SD, 3 - MPU-6050, 4 - Display OLED e 5 - Bateria Recarregável de 9 volts.



Fonte: Próprio autor.

Após montagem dos componentes, devidamente posicionados no *case* de acrílico, o protótipo desenvolvido identifica o eixo vertical como “Y”, o eixo horizontal como “X” e o eixo anteroposterior como “Z”. Os eixos identificados no protótipo estão apresentados na figura 03.

Figura 03. *Hardware* baseado em tecnologia Arduino para coleta de dados de variação inercial de acelerometria.



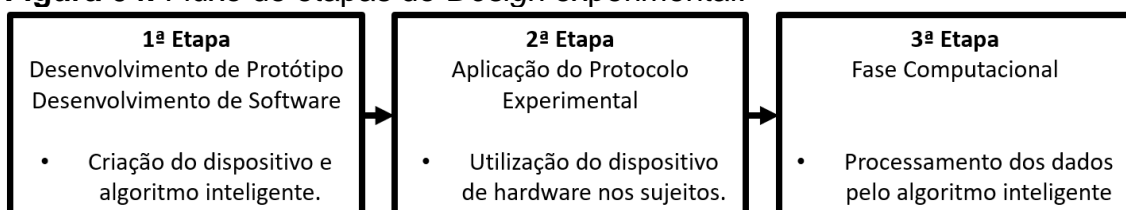
Fonte: Próprio autor.

Todos os dados de acelerometria linear e angular foram gravados através do Módulo Cartão Micro SD em um cartão de memória. Os dados seguiram para um computador contendo o *software* baseado em algoritmo inteligente, para a leitura dos dados.

7.7. *Design experimental*

O *design experimental* seguiu três etapas, sendo a primeira etapa de desenvolvimento de protótipo e desenvolvimento de *software* baseado em algoritmo inteligente; a segunda etapa é de aplicação do protocolo experimental; a terceira etapa é baseada em uma fase computacional para aplicação do *software* baseado em algoritmo inteligente. O fluxo das etapas do *Design experimental* encontra-se representados na figura 04.

Figura 04. Fluxo de etapas do *Design experimental*.



Fonte: Próprio autor

Inicialmente, para desenvolvimento de prototipagem, foi utilizado um Arduino UNO, por ser mais adequado para estudo devido a facilidade de identificação de portas e componentes. Durante a testagem de componentes o MPU-6050 foi ligado a uma *proto-board* e demonstrou ser programável possível de aplicar ao protótipo. Durante essa primeira etapa, foram realizados os primeiros testes piloto envolvendo a programação na busca pela melhor *performance* de programação da plataforma que estava sendo utilizada através da avaliação dos dados gerados.

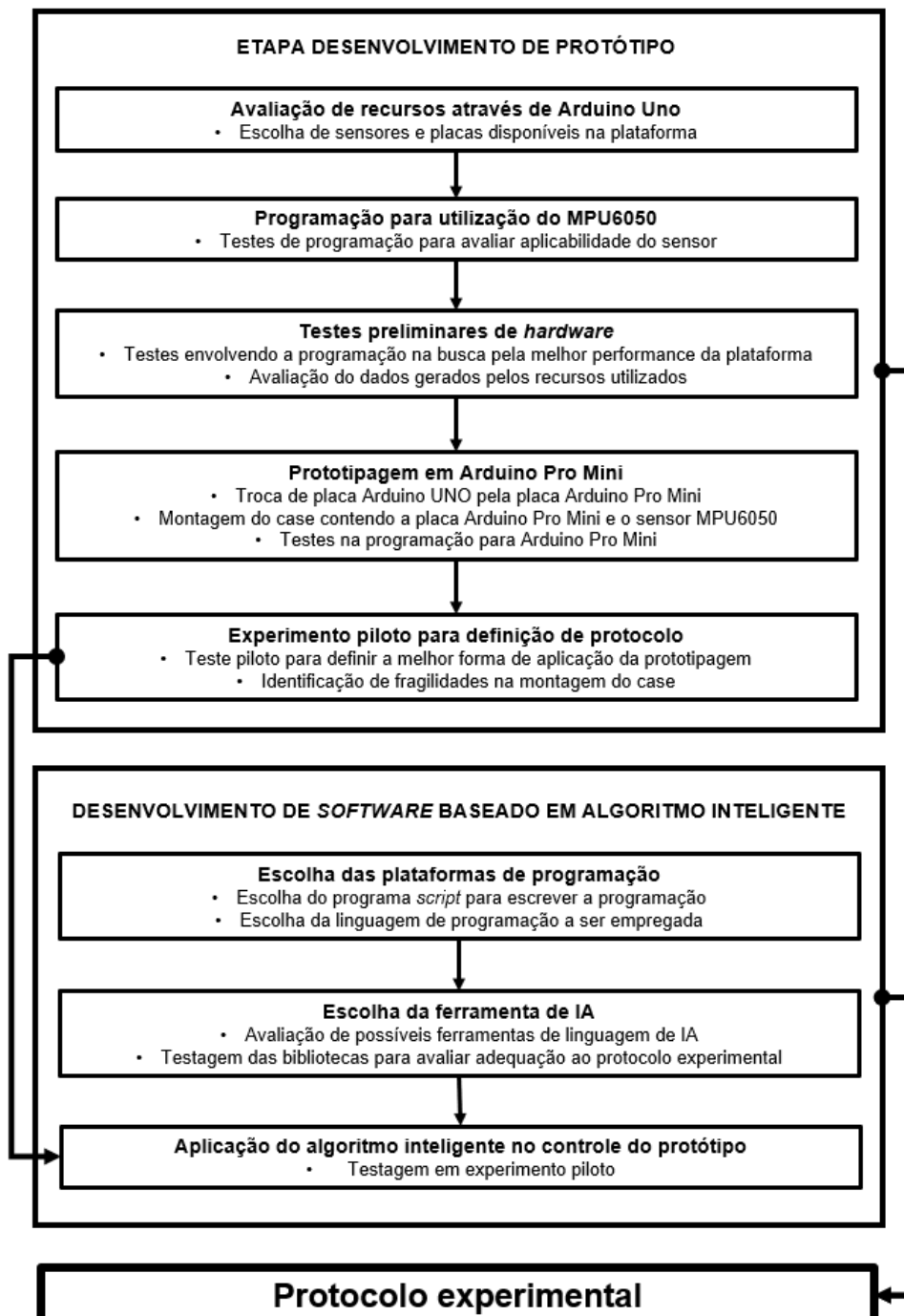
Após a escolha da melhor estratégia de programação para gerar *performance* no protótipo, o Arduino UNO foi substituído pelo Arduino Pro Mini, onde ocorreu uma nova montagem de adequação para a utilização do MPU-6050. Após nova testagem os componentes foram posicionados em um *case* de acrílico, mantendo a visibilidade dos componentes. Com o *case* montado novos testes piloto, envolvendo movimentos de exercícios físicos utilizando o protótipo, foram realizados para identificar possíveis necessidades e fragilidades em busca do protocolo para coleta de dados.

Em paralelo a montagem do protótipo, a melhor *performance* da programação foi prioridade no bom funcionamento do controlador. A programação do protótipo foi realizada em programa específico que é o *software* Arduino IDE. A calibração do dispositivo seguiu o protocolo semelhante ao de Jéfia *et al.* (2017), utilizando a gravidade e mantendo o protótipo o mais estático possível em cima de uma plataforma no plano horizontal. No referido protocolo, o acelerômetro linear utiliza a calibração de acordo com a gravidade (força G) e o acelerômetro angular marca a aceleração igual a zero ($^{\circ}/\text{seg}^2$)(JEFIZA; PRAMUNANTO; BOEDINOEGROHO; PURNOMO, 2017).

O desenvolvimento do *software* baseado em algoritmo inteligente, necessitou da escolha de uma plataforma capaz de dar suporte para a programação. Nesse sentido foi selecionado o *Software Visual Studio Code*[®] desenvolvido pela *Microsoft*[®] por ser uma ferramenta que, além da programação, também processa e apresenta o resultado. A linguagem de programação selecionada foi *Python*[®], sendo uma ferramenta que torna possível o desenvolvimento do *software* proposto e a continuidade dos estudos envolvendo novas atualizações de prototipagem para o futuro.

Para a utilização do *Python*[®], as bibliotecas disponíveis também passaram por testagem para uma avaliação da melhor *performance* do *software* de classificação de exercícios físicos. Na figura 05 é apresentado o fluxograma da etapa de prototipagem e desenvolvimento de *software* baseado em algoritmo inteligente.

Figura 05. Fluxograma da primeira etapa com desenvolvimento do protótipo e do *Software* baseado em Algoritmo inteligente seguindo para o protocolo experimental.



Fonte: Próprio Autor.

O protocolo experimental para coleta de dados foi antecedido por uma fase de preparação onde houve uma apresentação do protocolo experimental, sempre realizada pelo pesquisador responsável. Caso o indivíduo aceitasse participar do protocolo experimental, o mesmo deveria assinar o TCLE, responder se o mesmo apresenta alguma doença, lesão ou necessidade de adaptação para qualquer exercício físico e qual o nível de condicionamento atual, sendo aceito apenas com mais de um ano de treinamento. Após o aceite e assinatura do TCLE, o participante passava por uma breve familiarização com o espaço e com os exercícios físicos propostos para o protocolo experimental. Durante a familiarização o participante poderia utilizar o tempo que vier a achar necessário para se sentir à vontade dentro do protocolo proposto, porém não poderia ter fadiga. Após a familiarização, a cinta do protótipo era posicionada na linha da circunferência da cintura do abdome com o sensor na região medial do dorso como apresentado na figura 06.

Figura 06. Posicionamento do protótipo durante a coleta de dados do protocolo experimental.



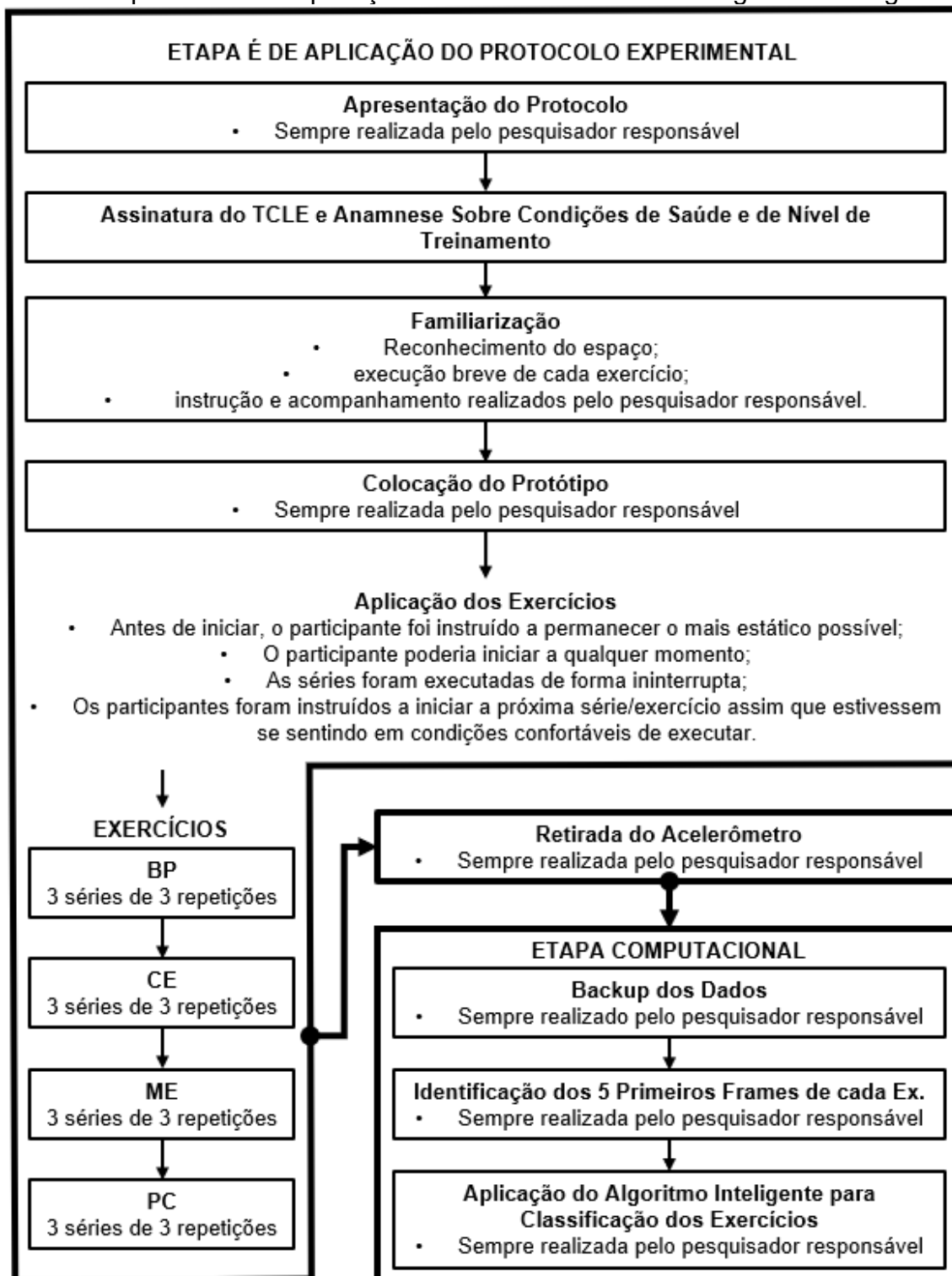
Fonte: Próprio Autor

Os exercícios físicos propostos para o protocolo de coleta de dados foram o *Burpee* (BP), a corrida estacionária (CE), a marcha estacionária (ME) e o polichinelo (PC), sendo os mesmos aplicados de forma respectiva. Os exercícios físicos que compuseram este estudo foram escolhidos dentro de uma estratégia metodológica que considerou o conhecimento prévio dos participantes e o fato dos mesmos não terem sobrecarga baseada em pesos. Para facilitar a identificação dos dados, todos os participantes foram instruídos a permanecer o mais estáticos possível antes de iniciar o exercício físico do protocolo experimental. Assim que o protótipo era posicionado, durante todo o protocolo de coleta de dados, o participante permanecia estático e poderia iniciar o movimento do exercício físico a qualquer momento, ficando a critério do mesmo o momento de início de cada série. Após iniciar o exercício físico, o participante não poderia interromper a execução da série, voltando a ficar estático com o término. Para aguardar as próximas três séries de três repetições do próximo exercício físico a ser coletado, o participante mantinha-se com a recomendação de permanecer o mais estático possível.

A realização dos exercícios físicos foi organizada em séries e repetições, entre as séries um intervalo, sendo 4 exercícios (BP, CE, ME e PC) compostos de três séries com três unidades de repetições realizados de forma ininterrupta. Durante o intervalo, os participantes poderiam aguardar o tempo que achassem necessário para executar a próxima série, mantendo a posição mais estática possível. Cada conjunto de três unidades de repetições foram realizadas em três séries por exercício, totalizando uma carga total de nove unidades de exercícios físicos por participante.

Após a aplicação dos exercícios físicos do protocolo de coleta de dados, o protótipo era retirado e os dados imediatamente conduzidos para um computador, onde eram salvos para iniciar a etapa computacional. Uma nova preparação do dispositivo era realizada, deixando tudo pronto para a próxima aquisição de dados. O referido procedimento era realizado sempre pelo mesmo pesquisador responsável. O procedimento de coleta de dados do protocolo experimental até o encaminhamento para início da fase computacional pode ser visualizado na figura 07.

Figura 07. Fluxograma da segunda e terceira etapas com a da coleta de dados e fase computacional de aplicação do *software* baseado em algoritmo inteligente.



Fonte: Próprio autor.

Os dados coletados foram abertos no *Microsoft Excel*[®] para identificação manual dos cinco primeiros *frames* de cada exercício físico, sendo, o referido processo, realizado sempre pelo pesquisador responsável, a partir de dados

brutos. Os dados brutos podem ser interpretados pela IA, como reportado no estudo de Yasmin *et al.* (2021).

Os gráficos possíveis de serem gerados com os referidos dados, foram utilizados como recurso para a identificação e corte dos primeiros cinco frames de cada exercício físico realizado no protocolo de coleta de dados. O intervalo entre series, mantendo a posição mais estática possível, ajudou na identificação do início das mesmas. Os dados extraídos foram salvos em um único arquivo, tendo cada exercício físico posicionados em linha única composta pelas colunas “AcX01”, “AcY01”, “AcZ01”, “GyX01”, “GyY01”, “GyZ01” “AcX02”, “AcY02”, “AcZ02”, “GyX02”, “GyY02”, “GyZ02” “AcX03”, “AcY03”, “AcZ03”, “GyX03”, “GyY03”, “GyZ03” “AcX04”, “AcY04”, “AcZ04”, “GyX04”, “GyY04”, “GyZ04” “AcX05”, “AcY05”, “AcZ05”, “GyX05”, “GyY05”, “GyZ05” e a identidade da unidade do exercício físico (BP, CE, ME ou PC). Por fim, os dados foram expostos a execução do *software* baseado em algoritmo inteligente para avaliar a estatística de acerto do classificador. Os dados foram avaliados a partir de IA utilizando a ferramenta K-NN da biblioteca *Numpy* da linguagem *Python*[®]; uma matriz de confusão foi criada, dando origem as métricas de precisão, sensibilidade (*recall*), F1-Score, Índice Fowlkes-Mallows (FMI), especificidade e acurácia, utilizados para aferir a eficiência do classificador do objeto do estudo. A ferramenta K-NN é utilizada pela IA para classificar a partir de valores aproximados em distância euclidiana, portanto, valores aproximados que se assemelhem aos valores treinados, apresentam maiores índices de acerto na classificação dos exercícios físicos que compõem este protocolo experimental. A análise dos dados segue a recomendação de Vilela Junior *et al.* (2022) para provar e justificar a capacidade do classificador em gerar resultados confiáveis.

8. RESULTADOS

A construção do protótipo necessitou de programação que foi realizada através do *software* Arduino IDE. A programação inclui as bibliotecas de *input* e *output* do Módulo Cartão Micro SD presentes na inclusão da “SSD1306Ascii.h” e da “SSD1306AsciiWire.h”; a biblioteca de leitura do *input* do módulo MPU-6050 presente na inclusão da “MPU6050_light.h”; a biblioteca de *output* do Display OLED presente na inclusão da “SPI.h”, “SD.h” e “Wire.h”. Para que os dados possam ser gravados e reportados como *output*, foi criado um nome para a acelerometria linear e para a acelerometria angular de dentro da biblioteca.

Ainda como parte da programação, os indivíduos foram diferenciados por números aleatórios, ou seja, a programação utilizou um gerador de números aleatórios que altera sempre que o protótipo é reiniciado. Dessa forma, os números aleatórios serviram para ajudar nas anotações e registros de ocorrências durante toda a coleta de dados.

Ao ligar o protótipo, o Display OLED escreve na tela de inicialização as siglas “CPAQV” e “NPBOQV” e solicita que o mesmo deve permanecer parado para “zerar o acelerômetro”. Durante a inicialização, o acelerômetro linear é calibrado para manter o eixo “X” em -1 g, o eixo “Y” em \emptyset g e o eixo “Z” em \emptyset g; o acelerômetro angular calibra com o valor igual a \emptyset °/s² em todos os eixos como já utilizado na literatura (JEFIZA; PRAMUNANTO; BOEDINOEGROHO; PURNOMO, 2017). Após a calibração o controlador entra em loop com valor de frequência igual a 100 Hz, reportando os dados para o *output*, gerando valores no Display OLED e na gravação do Módulo Cartão Micro SD. As linhas de programação com os descritores das funções seguem abaixo exatamente como escritas no *software* Arduino IDE.

Linhas de programação utilizadas no Software Arduino IDE:

```

/*
* Ligação:
* Display e Acelerometro usam Interface IC2:
* SDA do acelerometro e SDA do Display Ligados no Pino A4
* SCL do acelerometro e SCK do Display Ligados no Pino A5
* VCC do acelerometro e VCC do Display Ligados no Pino 5V
* GND do acelerometro e GND do Display Ligados no Pino GND
* Gravador de cartão SD usa a Seguinte Ligação nesse código:]
* GND para GND
* VCC para 5V
* MISO para D12
* MOSI para D11
* SCK para D13
* CS para D4 ou outra definida no código
*/

#include <SSD1306Ascii.h>
#include <SSD1306AsciiWire.h>
#include <MPU6050_light.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>

#define I2C_ADDRESS 0x3C

SSD1306AsciiWire display;
MPU6050 mpu(Wire);           //Cria um nome para o acelerometria angular e linear
long randomNumber           //Cria variável para um número aleatório
File myFile;

void setup() {
  randomSeed(analogRead(0)); //Gera uma saída para o número randômico
  randomNumber = random(1000,9999); //Escolhe um número entre 100 e 999 para servir de identificação.

  Wire.begin();
  Wire.setClock(800000L);
  mpu.begin();

```

```

display.begin(&Adafruit128x64, I2C_ADDRESS);
display.setFont(Adafruit5x7);
display.set1X();
display.clear();
display.println("CPAQV");
display.println("NPBOQV");
display.println(" ");
display.println("Zerando acelerometro");
display.println("Mantenha parado");
delay(1000);

mpu.calcOffsets(true,true);           //Zera o ac. angular e calibra o ac linear com o eixo "X" em -1 g

if (!SD.begin(4)) {                  //Testa se o gravador do Cartão SD iniciou corretamente
  display.clear();
  display.println("Falha no setup");
  display.println("Sem SD");
  delay(500);
  while (1);
}

display.clear();
display.println("OK");
display.println("Gravando");
delay(500);

}

void loop() {
  mpu.update();

  display.clear();
  display.println("NPBOQV");
  display.print("Sujeito: ");
  display.println(randNumber);
  display.println(" ");
  display.println("  Acel / Gyro");
  display.println(" ");
  display.print("X: ");

```

```

display.print(mpu.getAccX());
display.print(" / ");
display.println(mpu.getGyroX());
display.print("Y: ");
display.print(mpu.getAccY());
display.print(" / ");
display.println(mpu.getGyroY());
display.print("Z: ");
display.print(mpu.getAccZ());
display.print(" / ");
display.println(mpu.getGyroZ());

```

```
myFile = SD.open("saida.csv", FILE_WRITE);
```

```
//Abre o arquivo para gravação
```

```
if (myFile) {
```

```
    myFile.print(randNumber);
```

```
//Grava valor do número de identificação
```

```
    myFile.print(",");
```

```
//Grava uma virgula
```

```
    myFile.print(mpu.getAccX());
```

```
//Grava valor do acelerômetro, eixo X
```

```
    myFile.print(",");
```

```
//Grava uma virgula
```

```
    myFile.print(mpu.getAccY());
```

```
//Grava valor do acelerômetro, eixo Y
```

```
    myFile.print(",");
```

```
//Grava uma virgula
```

```
    myFile.print(mpu.getAccZ());
```

```
//Grava valor do acelerômetro, eixo Z
```

```
    myFile.print(",");
```

```
//Grava uma virgula
```

```
    myFile.print(mpu.getGyroX());
```

```
//Grava valor do gyro, eixo X
```

```
    myFile.print(",");
```

```
//Grava uma virgula
```

```
    myFile.print(mpu.getGyroY());
```

```
//Grava valor do gyro, eixo Y
```

```
    myFile.print(",");
```

```
//Grava uma virgula
```

```
    myFile.println(mpu.getGyroZ());
```

```
//Grava valor do gyro, eixo Z
```

```
    myFile.close();
```

```
} else {
```

```
    display.clear();
```

```
    display.println("Falha no loop");
```

```
    display.println("Sem SD");
```

```
    delay(500);
```

```
}
```

```
delay(10);
```

```
}
```


foi criado um "caminho" do arquivo (geralttestexy.csv) contendo os dados a ser interpretados.

Foi definido um cabeçalho para cada coluna do arquivo que continha os dados aonde a acelerometria linear foi representada por "Ac", a acelerometria angular foi representada por "Gy", os eixos foram representados por "X", "Y" e "Z" e os cinco frames foram representados em forma numérica tendo ausência de número, "01", "02", "03", "04" e "05". Os dados do arquivo foram condensados em tabela interpretável diferenciando os rótulos.

Os dados passaram por uma função presente nas *numpy* e *matplotlib* que divide vetores e matrizes em subconjuntos de treino e testes aleatórios para padronizar dados, removendo a média e dimensionando para variação da unidade. Em seguida, é implementado o classificador K-NN gerando previsão para o conjunto de informações. Por fim, são utilizadas funções presentes nas *numpy* e *matplotlib* que usam o resultado do classificador para o *output*. As linhas de programação com os descritores das funções seguem abaixo exatamente como escritas no *software Visual Studio Code*[®] desenvolvido pela *Microsoft*[®] utilizando linguagem de programação *Python*[®].

Linha de programação do *Python*[®] escrita no *Visual Studio Code*[®]:

```
import numpy as np # Conjunto de Funções para cálculos matemáticos em Python
import matplotlib.pyplot as plt # Complemento de funções matemáticas, dependencia do NumPy
import pandas as pd # Funções de leitura de arquivo e interpretação de tabelas

path = 'geralttestexy.csv' # "caminho" do arquivo contendo os dados a ser interpretados
headernames = ['AcX', 'AcY', 'AcZ', 'GyX', 'GyY', 'GyZ', 'AcX01', 'AcY01', 'AcZ01', 'GyX01', 'GyY01', 'GyZ01', 'AcX02',
'AcY02', 'AcZ02', 'GyX02', 'GyY02', 'GyZ02', 'AcX03', 'AcY03', 'AcZ03', 'GyX03', 'GyY03', 'GyZ03',
```

```
'AcX04', 'AcY04', 'AcZ04', 'GyX04', 'GyY04', 'GyZ04', 'Name'] # Definindo cabeçalho (Colunas) dos dados
dataset = pd.read_csv(path, names = headernames) # Condensando os dados do arquivo em tabela (série)
interpretável pelo programa de cálculos
dataset.head() # Retorna valores da série
X = dataset.iloc[:, :-1].values # Define tabela de valores
y = dataset.iloc[:, 30].values # Define Rótulos baseados na 5a coluna
from sklearn.model_selection import train_test_split # Função presente em NumPy e Matplotlib que Divide vetores
e matrizes em subconjuntos de treino e testes aleatórios
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.40) # Aplica a função acima ao universo de
dados.

from sklearn.preprocessing import StandardScaler # Função presente em NumPy e Matplotlib que padroniza
dados removendo a média e dimensionando para variação da unidade
scaler = StandardScaler() # Declara o Padronizador
scaler.fit(X_train) # Roda o Padronizador
X_train = scaler.transform(X_train)
X_test = scaler.transform(X_test) # Armazena média e desvio padrão, serão usados posteriormente...

from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier # Função presente em NumPy e Matplotlib que implementa o
KNN
classifier = KNeighborsClassifier(n_neighbors = 8) # Define o classificador com o número de vizinhos para as
buscas
classifier.fit(X_train, y_train) # Usa o classificador nos dados coletados acima.

y_pred = classifier.predict(X_test) # Gera previsão para o conjunto de informação

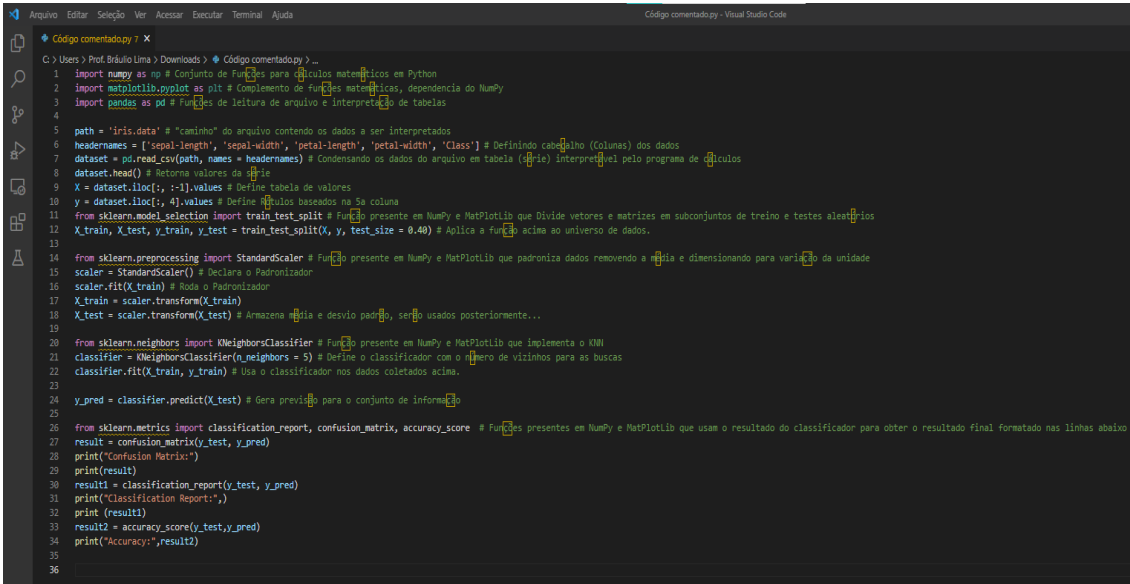
from sklearn.metrics import classification_report, confusion_matrix, accuracy_score # Funções presentes em NumPy
e Matplotlib que usam o resultado do classificador para obter o resultado final formatado nas linhas abaixo
result = confusion_matrix(y_test, y_pred)
print("Confusion Matrix:")
print(result)
result1 = classification_report(y_test, y_pred)
print("Classification Report:.",)
print (result1)
```

```
result2 = accuracy_score(y_test,y_pred)

print("Accuracy:",result2)
```

A programação supra citada foi incluída ao *software Visual Studio Code*[®] desenvolvido pela *Microsoft*[®] utilizando linguagem de programação *Python*[™] e a programação encontrasse como apresentado na figura 09.

Figura 09. Programação do Algoritmo de IA escrito em linguagem *Python*[®]. *Software Visual Studio Code*[®].

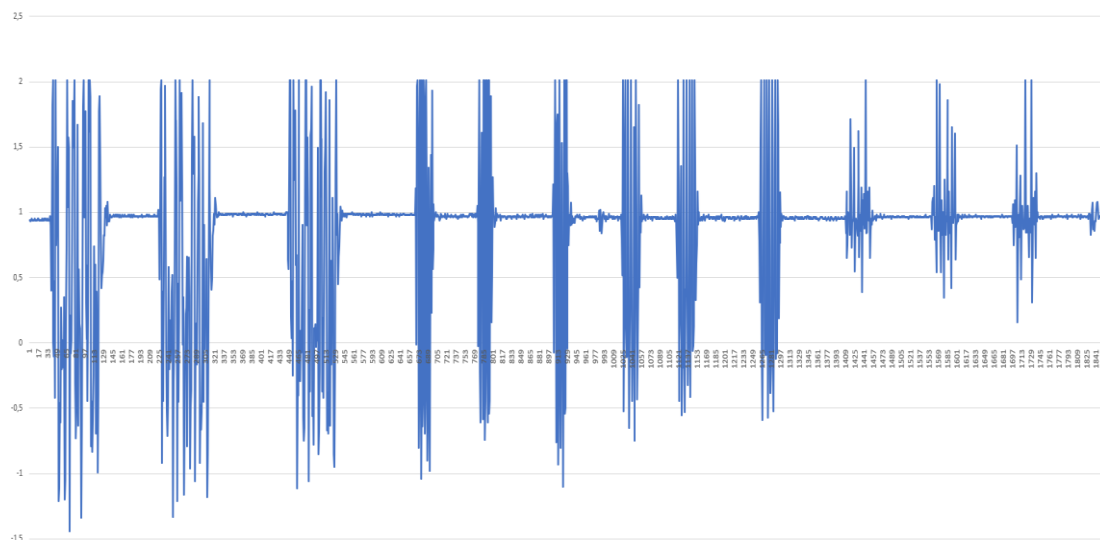


```
Arquivo Editar Seleção Ver Acessar Executar Terminal Ajuda
Código comentado.py - Visual Studio Code
Código comentado.py 7 X
C:\Users\Prof. Bráulio Lima > Downloads > Código comentado.py > ...
1 import numpy as np # Conjunto de Funções para cálculos matemáticos em Python
2 import matplotlib.pyplot as plt # Complemento de funções matemáticas, dependência do NumPy
3 import pandas as pd # Funções de leitura de arquivo e interpretação de tabelas
4
5 path = 'iris.data' # "caminho" do arquivo contendo os dados a ser interpretados
6 headersnames = ['sepal-length', 'sepal-width', 'petal-length', 'petal-width', 'Class'] # Definindo cabeçalho (Colunas) dos dados
7 dataset = pd.read_csv(path, names = headersnames) # Condensando os dados do arquivo em tabela (tupla) interpretável pelo programa de cálculos
8 dataset.head() # Retorna valores da tabela
9 X = dataset.iloc[:, :-1].values # Define tabela de valores
10 y = dataset.iloc[:, 4].values # Define valores baseados na 5a coluna
11 from sklearn.model_selection import train_test_split # Função presente em NumPy e Matplotlib que Divide vetores e matrizes em subconjuntos de treino e testes aleatórios
12 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.40) # Aplica a função acima ao universo de dados.
13
14 from sklearn.preprocessing import StandardScaler # Função presente em NumPy e Matplotlib que padroniza dados removendo a média e dimensionando para variância de unidade
15 scaler = StandardScaler() # Declara o Padronizador
16 scaler.fit(X_train) # Roda o Padronizador
17 X_train = scaler.transform(X_train)
18 X_test = scaler.transform(X_test) # Armazena média e desvio padrão, serão usados posteriormente...
19
20 from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier # Função presente em NumPy e Matplotlib que implementa o KNN
21 classifier = KNeighborsClassifier(n_neighbors = 5) # Define o classificador com o número de vizinhos para as buscas
22 classifier.fit(X_train, y_train) # Usa o classificador nos dados coletados acima.
23
24 y_pred = classifier.predict(X_test) # Gera previsões para o conjunto de informações
25
26 from sklearn.metrics import classification_report, confusion_matrix, accuracy_score # Funções presentes em NumPy e Matplotlib que usam o resultado do classificador para obter o resultado final formatado nas linhas abaixo
27 result = confusion_matrix(y_test, y_pred)
28 print("Confusion Matrix:")
29 print(result)
30 result = classification_report(y_test, y_pred)
31 print("Classification Report:")
32 print(result)
33 result2 = accuracy_score(y_test,y_pred)
34 print("Accuracy:",result2)
35
36
```

Fonte: Próprio autor

Com o protótipo programado e devidamente aplicado na coleta de dados, pode ser observado que o protocolo experimental, inicialmente identifica cada série através da recomendação de permanecer o mais estático possível para, posteriormente serem separados e identificados de forma manual em uma planilha. Os dados brutos da acelerometria linear do eixo “Y” encontram-se representados no gráfico 01.

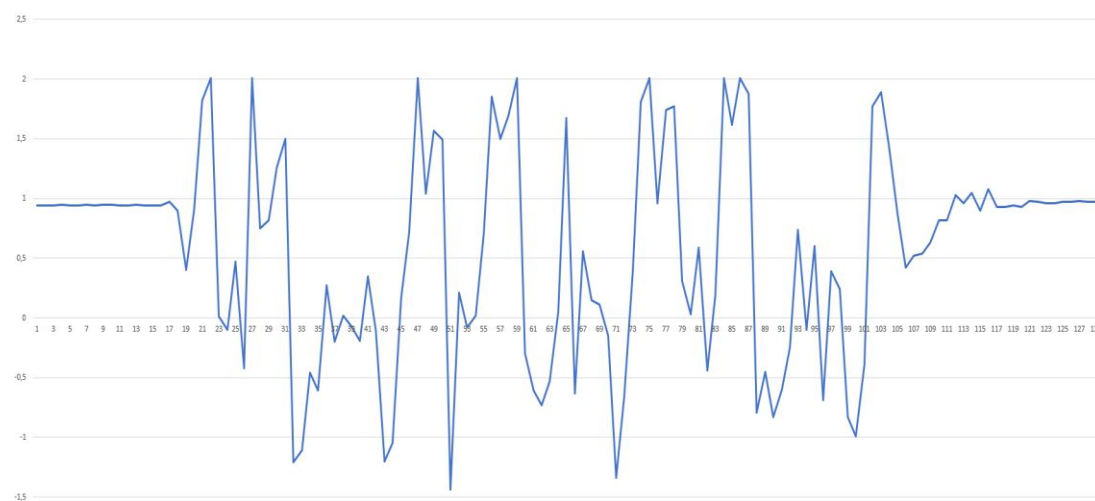
Gráfico 01. Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) do eixo vertical (Y) de todos os exercícios aplicados no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Ao observar apenas a acelerometria linear do eixo “Y” de apenas uma série do exercício físico do *BP* temos a representação apresentada no gráfico 02.

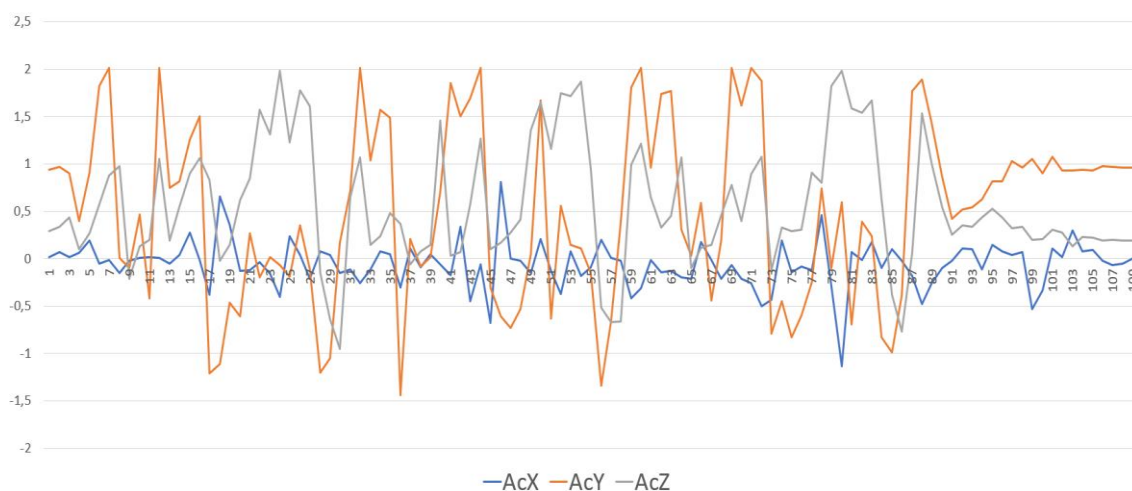
Gráfico 02. Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) do eixo vertical (Y) de uma série de *BP* aplicada no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Ao observar todos os dados da acelerometria linear de todos os eixos (X, Y e Z) de apenas uma série do exercício físico do *BP* temos a representação apresentada no gráfico 03.

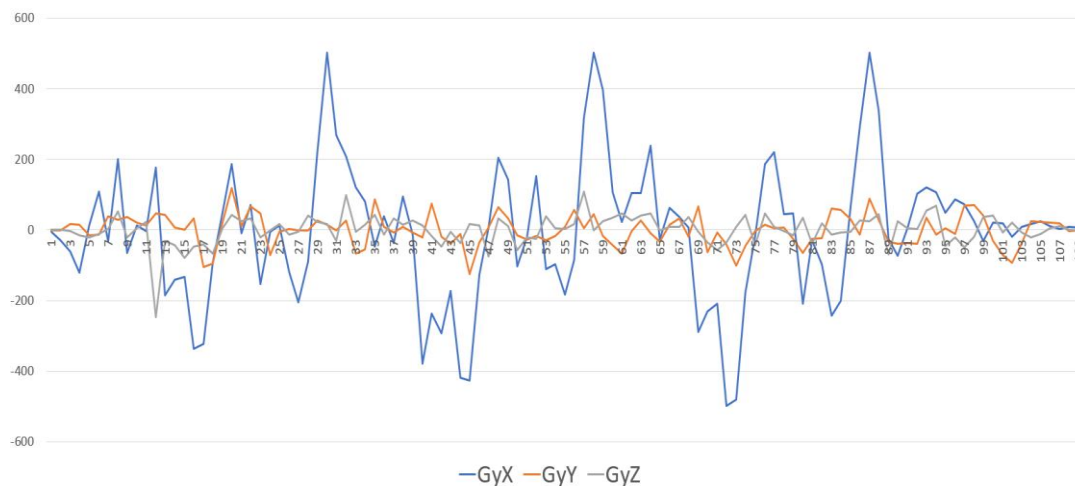
Gráfico 03. Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) dos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma série de *BP* aplicada no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Ao observar todos os dados da acelerometria angular de todos os eixos (X, Y e Z) de apenas uma série do exercício físico do *BP* temos a representação apresentada no gráfico 04.

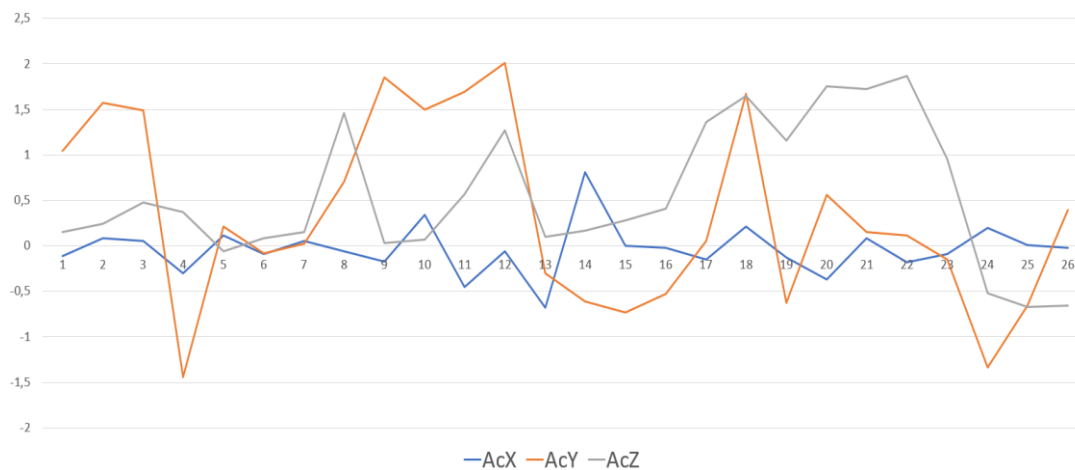
Gráfico 04. Exemplo de dados brutos do Giroscópio ($^{\circ}/s^2$) nos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma série de *BP* aplicada no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

As características semelhantes geraram um recorte feito no programa *Microsoft Excel*[®] para isolar apenas uma repetição do exercício físico. Ao observar todos os dados da acelerometria linear de todos os eixos (X, Y e Z) de apenas uma repetição do exercício físico do *BP* temos a representação apresentada no gráfico 05.

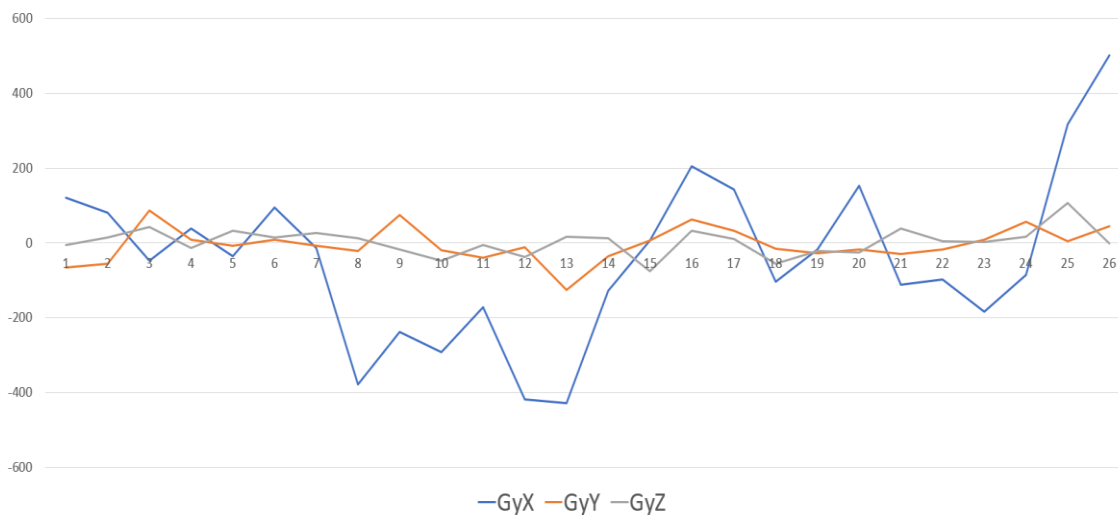
Gráfico 05. Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) dos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma repetição de *BP* aplicada no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Ao observar todos os dados da acelerometria angular de todos os eixos (X, Y e Z) de apenas uma repetição do exercício físico do *BP* temos a representação apresentada no gráfico 06.

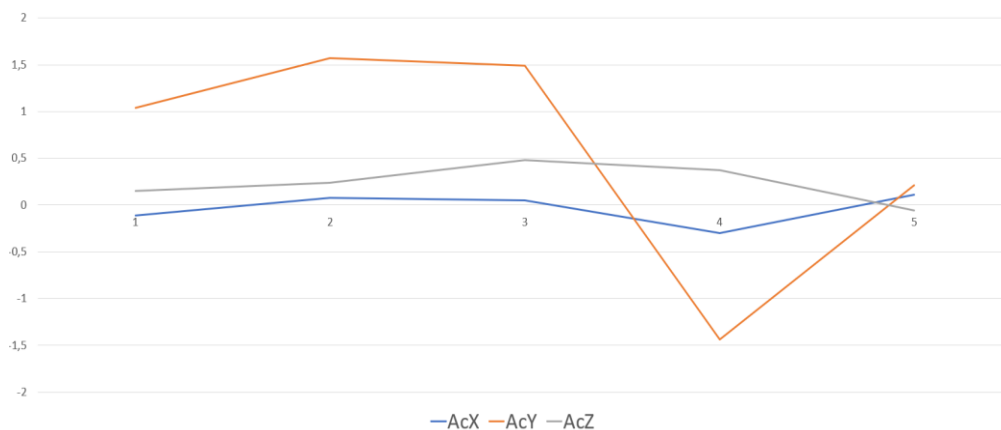
Gráfico 06. Exemplo de dados brutos do Giroscópio ($^{\circ}/s^2$) nos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) de uma repetição de *BP* aplicada no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Por fim, no programa *Microsoft Excel*[®], apenas os cinco primeiros frames, foram selecionados manualmente pelo pesquisador responsável, de cada repetição de exercício físico. Ao observar todos os dados da acelerometria linear de todos os eixos (X, Y e Z) dos cinco primeiros frames de uma repetição do exercício físico do *BP* temos a representação apresentada no gráfico 07.

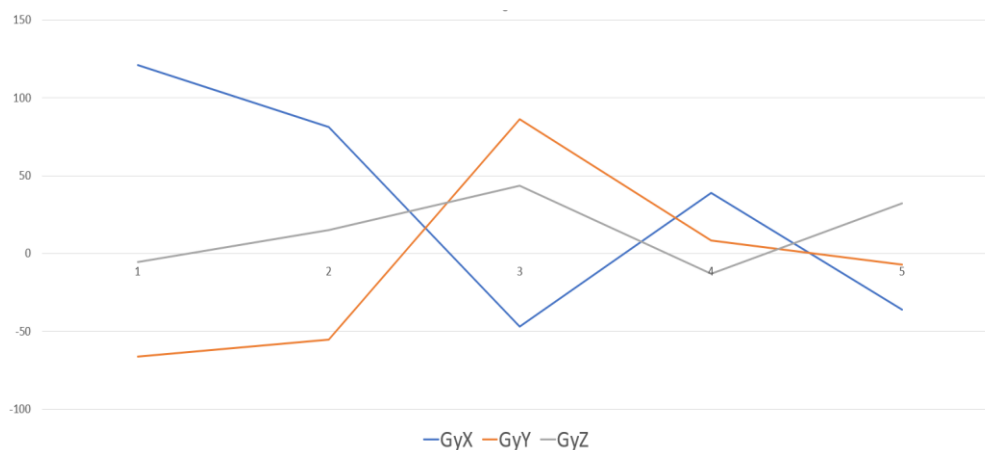
Gráfico 07. Exemplo de dados brutos da acelerometria (g) dos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) dos cinco primeiros frames de uma repetição de *BP* aplicada no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Ao observar todos os dados da acelerometria angular de todos os eixos (X, Y e Z) dos cinco primeiros frames de uma repetição do exercício físico do *BP* temos a representação apresentada no gráfico 08.

Gráfico 08. Exemplo de dados brutos do giroscópio ($^{\circ}/\text{seg}^2$) nos eixos horizontal (X), vertical (Y) e longitudinal (Z) dos cinco primeiros frames de uma repetição de *BP* aplicada no protocolo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Ao identificar e organizar todos os dados dos cinco primeiros frames de cada repetição dos exercícios físicos coletados a partir do protocolo experimental em um único arquivo, temos a aplicação do *software* baseado em algoritmo inteligente para avaliação do classificador. Os dados da programação e execução do *software* podem ser vistos na figura 10.

Figura 10. Classificação apresentada pelo Algoritmo inteligente através de ferramenta de IA baseada em K-NN no *Visual Studio Code*[®] com linguagem escrita em *Python* em uma visão geral do programa.

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import pandas as pd
4
5 # Carrega o arquivo contendo os dados e os interpreta
6 headers = ['Acc', 'Act', 'Acc2', 'Act2', 'Acc3', 'Act3', 'Acc4', 'Act4', 'Acc5', 'Act5', 'Acc6', 'Act6', 'Acc7', 'Act7', 'Acc8', 'Act8', 'Acc9', 'Act9', 'Acc10', 'Act10']
7 dataset = pd.read_csv(path, header=headers)
8 dataset.head()
9
10 # Carrega o arquivo contendo os dados e os interpreta
11 y = dataset.iloc[:, 10].values
12
13 from sklearn.model_selection import train_test_split # Função presente no numpy e Matplotlib que divide os dados em subconjuntos de treino e teste
14 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.40)
15
16 from sklearn.preprocessing import StandardScaler # Função presente no numpy e Matplotlib que padroniza os dados
17 scaler = StandardScaler()
18 X_train = scaler.fit_transform(X_train)
19 X_test = scaler.transform(X_test)
20
21 from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier # Função presente no numpy e Matplotlib que implementa o KNN
22 classifier = KNeighborsClassifier(n_neighbors = 3)
23 classifier.fit(X_train, y_train)
24
25 y_pred = classifier.predict(X_test)
26
27 from sklearn.metrics import classification_report, confusion_matrix, accuracy_score # Funções presentes no numpy e Matplotlib que usam o resultado do classificador para obter o resultado final
28 result = confusion_matrix(y_test, y_pred)
29 print('Confusion Matrix:')
30 print(result)
31 result1 = classification_report(y_test, y_pred)
32 print('Classification Report:')
33 print(result1)
34 result2 = accuracy_score(y_test, y_pred)
35 print('Accuracy:')
36 print(result2)

```

```

root@DESKTOP-06N1L1U:~/Users/Prof. Bráulio Lima/Desktop/Programa/IA/COLETA/ANALISES DE EXERCÍCIOS DE EXERCÍCIOS python3 run.py
Confusion Matrix:
[[ 18  0  0]
 [ 28 23  0]
 [ 8  79  0]
 [ 1  0 548]]
Classification Report:
              precision    recall  f1-score   support

   Burpee      0.95      0.68      0.80         57
 Corrida Estacionária  1.00      0.56      0.72         58
 Marcha Estacionária  0.24      1.00      0.35         78
 Polichinelos  0.71      0.89      0.79         54

 accuracy      0.85      0.70      0.77         253
 macro avg      0.84      0.80      0.79         253
 weighted avg      0.84      0.80      0.79         253

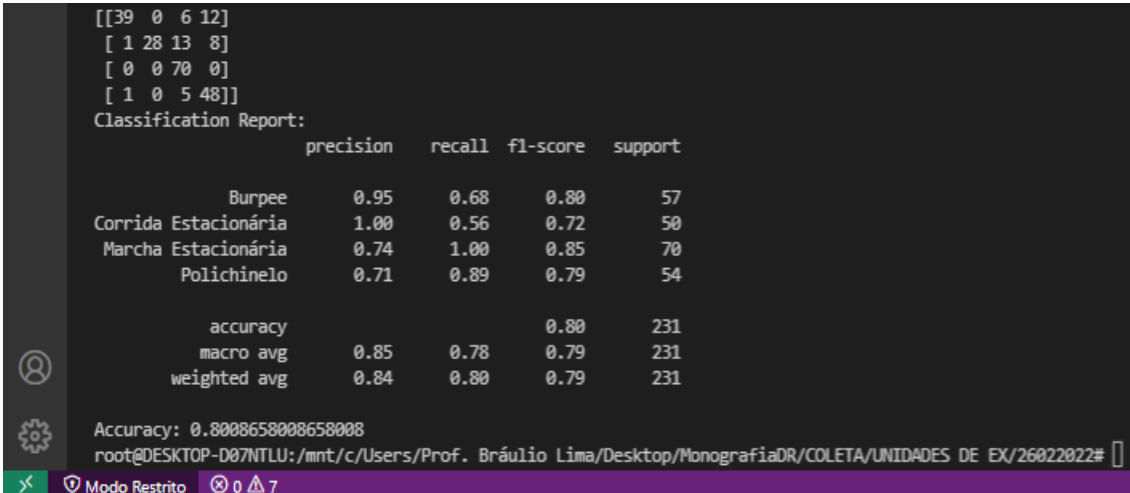
Accuracy: 0.8886538865388654

```

Fonte: Próprio autor

Após a execução do *software* baseado em algoritmo inteligente o programa apresentou dados de precisão e sensibilidade conforme figura 11.

Figura 11. Classificação apresentada pelo Algoritmo inteligente através da ferramenta de IA baseada em K-NN no *Visual Studio Code*® com linguagem escrita em *Python* em uma visão dos resultados obtidos.



```

[[39 0 6 12]
 [ 1 28 13 8]
 [ 0 0 70 0]
 [ 1 0 5 48]]
Classification Report:

```

| | precision | recall | f1-score | support |
|----------------------|-----------|--------|----------|---------|
| Burpee | 0.95 | 0.68 | 0.80 | 57 |
| Corrida Estacionária | 1.00 | 0.56 | 0.72 | 50 |
| Marcha Estacionária | 0.74 | 1.00 | 0.85 | 70 |
| Polichinelô | 0.71 | 0.89 | 0.79 | 54 |
| accuracy | | | 0.80 | 231 |
| macro avg | 0.85 | 0.78 | 0.79 | 231 |
| weighted avg | 0.84 | 0.80 | 0.79 | 231 |

```

Accuracy: 0.8008658008658008
root@DESKTOP-D07NTLU:/mnt/c/Users/Prof. Bráulio Lima/Desktop/MonografiaDR/COLETA/UNIDADES DE EX/26022022#

```

Fonte: Próprio autor

Para a leitura dos dados realizada através do *software* baseado em algoritmo inteligente utilizando ferramenta K-NN, foi necessário organizar os dados de forma legível pelo programa. Segue na figura 12 o posicionamento dos dados para a referida leitura.

Figura 12. Organização dos dados para a leitura do *software* baseado em algoritmo inteligente utilizando ferramenta K-NN

The image shows a screenshot of an Excel spreadsheet. The title bar indicates the file is named 'geraltstesty.csv'. The ribbon includes 'Página Inicial', 'Inserir', 'Layout da Página', 'Fórmulas', 'Dados', 'Revisão', 'Exibir', and 'Ajuda'. The main area displays a grid of data from column A to U and row 133 to 153. The data consists of numerical values, many of which are negative, representing experimental results for different subjects and repetitions. The status bar at the bottom shows 'Pronto' and 'Acessibilidade: não disponível'.

Fonte: Próprio Autor.

Os dados de cada linha reportada na figura 12 representam os 5 primeiros frames de cada repetição de exercício físico utilizados no protocolo experimental, todos devidamente identificados para o treinamento do classificador. Ao considerar que foram 16 avaliados, onde cada avaliado executou 3 repetições em 3 séries em 4 exercícios físicos, então temos um total de 576 linhas com 144 de cada repetição de exercício físico para classificação para o treinamento do algoritmo inteligente.

A precisão para identificação do exercício físico *BP* foi de 95%; *CE* foi de 100%; *ME* foi de 74%; *PC* foi de 71%. A sensibilidade apresentada foi de 68% para o *BP*, de 56% para a *CE*, de 100% para a *ME* e de 89% para o *PC*. O *F1-score* apresentado para o *BP* foi de 80%; para a *CE* foi de 72%; para a *ME* foi de 85%; para o *PC* foi de 79%. O *FMI* apresentado para o *BP* foi de 80%; para a *CE* foi de 75%; para a *ME* foi de 86%; para o *PC* foi de 79%. Os dados de support para o *BP*, a *CE*, a *ME* e o *PC* foram 57, 50, 70 e 54 respectivamente. A

especificidade foi de 89% para o *BP*, de 88% para a *CE*, de 100% para a *ME* e de 96% para o *PC*. Os referidos dados estão reportados na tabela 03.

Tabela 03. Classificação apresentada pelo Algoritmo inteligente através da ferramenta de IA proposta.

| Exercício Físico | Precisão | Sensibilidade | F1-Score | FMI | Especificidade |
|------------------------|---------------|---------------|----------|------|----------------|
| BP | 0,95 | 0,68 | 0,80 | 0,80 | 0,89 |
| CE | 1,00 | 0,56 | 0,72 | 0,75 | 0,88 |
| ME | 0,74 | 1,00 | 0,85 | 0,86 | 1,00 |
| PC | 0,71 | 0,89 | 0,79 | 0,79 | 0,96 |
| Média Macro | 0,85 | 0,78 | 0,79 | 0,80 | 0,93 |
| Média Ponderada | 0,84 | 0,80 | 0,79 | 0,81 | 0,94 |
| Acurácia | 0,8008 | | | | |

FMI = Fowlkes-Mallows Index; BP = Burpee; CE = Corrida Estacionária; ME = Marcha Estacionária; PC = Polichinelo

Fonte: Próprio Autor

Os dados de Média Macro possuem uma precisão de 85%, sensibilidade de 78%, f1-score de 79% e especificidade de 93%. Os dados de Média Ponderada possuem uma precisão de 84%, sensibilidade de 80%, f1-score de 80%, FMI de 80% e especificidade de 94%. A acurácia, apresentada pelo classificador K-NN utilizado no *software* baseado em algoritmo inteligente utilizando dados do protótipo desenvolvido para coletar acelerometria linear e angular, foi de 80,08%.

9. DISCUSSÃO

Os métodos de aquisição de dados se apresentam para ciência como um dos limitadores de possibilidades de descoberta, onde o alcance tecnológico identifica o início de possíveis suposições que, por fim, tornam o paradigma passível de percepções teóricas indutivas ou dedutivas. As tecnologias, a partir do momento em que superam a percepção dos sentidos e/ou do processamento humano, passa a ser de fundamental importância para novas descobertas e aprofundamento científico. Dominar novas técnicas para pesquisa é fundamental em um momento em que a prototipagem, a IA e as linguagens de programação tornam-se mais “acessíveis”.

O sedentarismo e o comportamento sedentário têm se apresentado como um objeto de estudo na busca por ferramentas que possibilitem a diminuição da morte precoce. Ressalta-se que o sedentarismo e o comportamento sedentário estão associados a vários quadros patológicos que representam preocupações envolvendo saúde de um modo geral (KATZMARZYK; POWELL; JAKICIC; TROIANO *et al.*, 2019; PATEL; FRIEDENREICH; MOORE; HAYES *et al.*, 2019). No contexto de necessidade ao estímulo à prática regular de exercício físico, novas ferramentas que possam estar inseridas na realidade tecnológica em que vivemos devem ser promovidas, embasadas em conhecimento científico.

O autorrelato e os questionários psicométricos, são ferramentas muito utilizadas por médicos para compor os diagnósticos. Tal evento ocorre por falta de alternativas mais eficientes para determinação de comportamento e quantidade de exercício físico praticado durante a rotina em vida livre. Para Perez-Pozuelo *et al.* (2021), as *wearable* são as alternativas que tendem a substituir o autorrelato e os questionários psicométricos no que tange a

identificação do comportamento em vida livre. Este estudo corrobora com as observações feitas por Perez-Pozuelo *et al.* (2021) somando a possibilidade de utilização da prototipagem no desenvolvimento de tecnologia *wearable* que, através de algoritmo inteligente, pode classificar os exercícios físicos. Ressalta-se que o comportamento humano é muito complexo e maiores possibilidades, advindas de novas tecnologias, podem nos ajudar a entender melhor a referida complexidade.

A prototipagem de acelerometria e a IA tem sido amplamente utilizada como ferramentas em estudos que buscam maior contato da ciência com a realidade do movimento humano em vida livre, porém os modelos e protocolos tem se direcionado para atividades cotidianas envolvendo postura e marcha, como apresentado na revisão abrangente do estudo de Gao *et al.* (2021). A prática regular de exercício físico não está sendo contemplada pelos principais modelos de *wearable* de utilização de acelerômetro no pulso, pois o referido modelo está direcionado para identificação do vigor dos movimentos do membro superior monitorado, sendo assim, identifica o comportamento sedentário em vida livre deixando de fora a possibilidade de identificar exercícios físicos realizados propositalmente para aumento de gasto calórico de forma planejada e que venham a ter como finalidade melhorar ou manter a *performance* física através de sua manutenção em uma rotina diária que, por fim, deve ser estimulada.

O protocolo apresentado neste estudo, representa uma valiosa ferramenta para a próxima geração de cientistas, pois buscou-se autonomia em relação as ferramentas que tornam as pesquisas onerosas. A prototipagem, a IA e a linguagem de programação devem estar cada vez mais inseridas na

realidade de cientistas de todos os campos de pesquisa, incluindo os da área da saúde, pois trata-se de uma realidade que já pode ser observada através dos estudos aqui reportados na revisão bibliográfica e corroborada pelos dados aqui reportados.

Este estudo representa uma etapa importante para o futuro do desenvolvimento de tecnologias que possam identificar e contabilizar o total de exercício físico realizado em vida livre entre praticantes recreacionais, amadores e profissionais, em busca de maior controle e gerenciamento de suas rotinas. Por esse motivo, sugere-se que em uma próxima etapa, novos estudos sejam realizados através de prototipagem para avaliar a capacidade de identificação e classificação de exercícios físicos na rotina da vida livre, contribuindo para estudos que busquem o entendimento sobre as necessidades dos mesmos sem uma grande quantidade de métodos de interferência no protocolo, aproximando a atividade laboratorial da aplicabilidade na vida real.

A prototipagem traz um conceito que contempla a utilização de recursos tecnológicos para desenvolvimento de novas soluções (MCROBERTS, 2018). A tecnologia baseada em plataforma Arduino, busca a popularização da prototipagem, sendo amplamente utilizada para soluções específicas, como uma ferramenta viável para a engenharia, estudantes e pesquisadores (HASIBUZZAMAN; SHUFIAN; SHEFA; RAIHAN *et al.*, 2020; MCROBERTS, 2018). As soluções possíveis de serem alcançadas com a tecnologia Arduino são amplamente utilizadas nas engenharias, como é reportado por Hasibuzzaman (2020), onde o autor afirma que a utilização de acelerômetros associados ao referido controlador pode apresentar dados muito precisos em plataformas simples ligadas a computadores pessoais. A referida precisão, ao

ser associada à identificação do movimento humano, tem sido apresentada como uma ferramenta para avaliar postura, marcha e vigor de movimento no local onde o acelerômetro está posicionado, como citado no estudo de Nduanya *et al.* (2018), que utiliza o protótipo para controlar um braço-robô. No estudo de Nduanya *et al.* (2018), pode ser observado o *input* baseado em acelerômetro e um processamento que interpreta o movimento de forma a replicar os gestos no *output* de um braço mecânico. No presente trabalho, o Arduino e o giroscópio tiveram uma finalidade semelhante à dos estudos citados neste parágrafo, pois coletaram dados específicos de movimento humano, porém, o exercício físico praticados durante a rotina de treinamento precisa ser contemplada nos modelos que envolvem vida livre, por esse motivo, no protocolo experimental, são utilizados movimentos tipicamente utilizados em uma rotina de treinamento físico. As sessões de treinamento devem fazer parte de uma rotina saudável para o ser humano, tornando os dados apresentados neste estudo, de grande relevância para o desenvolvimento de tecnologias de classificação do exercício físico que venham a motivar a sua prática regular.

A programação do Arduino desenvolvida e reportada nesse trabalho, buscou controlar um sistema de coleta de dados baseado em um acelerômetro com giroscópio, para produzir dados que foram processados de forma a organizar a gravação em um micro SD enquanto apresenta simultaneamente os mesmos dados no visor OLED. Os dados de cada movimento de exercício físico executado durante o protocolo foram abertos no *Microsoft Excel*[®] e, manualmente, foram separados para ter a identificação aproximada de cada movimento que, a posteriori, treinou o algoritmo inteligente baseado em K-NN. O algoritmo inteligente, por ser uma ferramenta baseada em IA, identificou

similaridades em pequenos detalhes que a percepção dos sentidos humanos só poderia considerar como um ruído, ou seja, as características de similaridade entre os dados apresentados para o algoritmo inteligente baseado em K-NN dificilmente poderiam ser classificadas pelo avaliador humano.

Para Haseeba & Glinds (2018), em estudo que avalia risco de quedas em idosos, utilizando acelerometria através de tecnologia Arduino e processamento por IA através de K-NN, a colocação dos instrumentos no pulso foi uma opção pelo conforto e proximidade com as *wearable*, que já são utilizadas comercialmente no local em forma de *smartwatches*. No presente trabalho, o protótipo foi posicionado na região posterior do tronco na linha da cintura por uma questão de escolha metodológica, considerando que seria um local com menor variedade decorrente da liberdade de movimento estimulada durante o protocolo experimental. Outra questão que foi considerada para o posicionamento do protótipo, foi o conforto para a execução dos exercícios físicos selecionados na composição do protocolo experimental, sendo a parte posterior da linha da cintura considerada a mais confortável durante a fase de teste piloto.

Os dados coletados não tiveram um tratamento estatístico prévio a aplicação do algoritmo inteligente baseado em K-NN, pois os referidos precisam ser apresentados como dados brutos. Em estudo desenvolvido por Hysenllari *et al.* (2022), que utilizou IA através de rede neural convolucional para analisar dados de acelerometria com finalidade de reconhecimento de atividade humana, tiveram os dados brutos processados e, de acordo com o autor do estudo, foram obtidos excelentes resultados em um modelo de reconhecimento em tempo real. O poder de interpretação de dados brutos é fundamental para o desenvolvimento

de protótipos que utilizem IA para que possam classificar em tempo real, sendo este o motivo para a necessidade de manutenção do modelo proposto neste trabalho.

A ferramenta K-NN da IA funciona como um tipo de classificador que utiliza padrões pré estabelecidos através de valores aproximados em distâncias euclidianas, ou seja, o treinamento da IA baseada em K-NN apresenta padrões que passam a compor valores aproximados a serem avaliados pelo classificador. No estudo de Khairuddin *et al.* (2019), foram utilizados dois modelos de classificadores que são o *Support Vector Machine* (SVM) e *k-Nearest Neighbor* (K-NN), onde o K-NN apresentou maior precisão. Ainda observando o estudo de Khairuddin *et al.* (2019), tratou-se de classificar pré-intenção e intenção do movimento com dados coletados através de Eletromiografia (EMG). As atividades independentes envolvendo a preparação para movimento posterior podem ser consideradas na avaliação do movimento humano e torna-se mais sensível através de ferramentas baseadas em IA, justificando a falta de necessidade de maiores dados na estruturação do treinamento da ferramenta K-NN podendo manter grande acurácia, como foi observado nos resultados deste estudo.

O protocolo experimental utilizou amostra humana para testagem do protótipo e do algoritmo inteligente baseado em K-NN. Todo o protocolo foi apresentado e acompanhado pelo mesmo pesquisador responsável, que seguiu todos os cuidados éticos inerentes a esse tipo de coleta de dados para diminuir as chances de ocorrer novas demandas.

No estudo desenvolvido por Li & Xu (2022), também houve a utilização de amostra humana para ser avaliada através de classificador K-NN que foi treinado

para identificar queda para a frente, para trás, para a direita e para a esquerda a partir de exercícios de corrida, salto e agachamento. Em suas conclusões, o autor relata que as técnicas que utilizam combinação de multissensores apresentam resultados mais precisos, visto a maior quantidade de dados possíveis de caracterizarem os exercícios a serem classificadas. Neste estudo os sensores de acelerometria foram somados aos sensores inerciais do giroscópio para poderem apresentar mais dados que caracterizem os exercícios a serem classificadas, porém o protótipo teve apenas um dispositivo posicionado em cada indivíduo avaliado com a finalidade de simplificar a possibilidade de aplicabilidade. Outra observação ao comparar os estudos é que os mesmos buscam, através de soluções semelhantes, classificar contextos diferentes, onde Li & Xu (2022), avaliaram questões posturais envolvendo o risco de queda, enquanto este trabalho buscou classificar exercícios físicos.

Mesmo com minimização da quantidade de frames utilizados para cada linha apresentada na figura 12, o classificador utiliza o nome de cada exercício para fazer a avaliação. Cada frame possui 6 números, AcX, AcY, AcZ, GyX, GyY e GyZ, portanto, cada linha possui um total de 30 itens avaliados pela ferramenta K-NN, comparando entre todas as linhas apresentadas através de distância euclidiana.

Os valores de precisão, apresentados através da aplicação do algoritmo inteligente baseado em K-NN para classificação do exercício físico, foram próximos de 95% para o BP, 100% para a CE, 74% para a ME e 71% para o PC, chegando aos valores aproximados de média macro de 85% e média ponderada de 84%. De acordo com Vilela Junior *et al.* (2022), ao avaliar classificadores baseados em IA, a precisão diminui com o aumento do falso positivo, ou seja,

trata-se de um conceito que, quando aplicado, busca a identificação da quantidade percentual de verdadeiros positivos que estão corretos. De acordo com o referido conceito, quando o classificador proposto neste estudo, ao identifica o exercício físico, está correto, na média, próximo de 85% das vezes, demonstrando ter uma boa precisão ao classificar um dos exercícios físicos.

Os valores de sensibilidade, apresentados através da aplicação do algoritmo inteligente baseado em K-NN para classificação do exercício físico, foram próximos de 68% para o BP, 56% para a CE, 100% para a ME e 89% para o PC, chegando aos valores aproximados de média macro de 78% e média ponderada de 80%. Para Walters (2015), a sensibilidade é insensível à recuperação de itens não relevantes, representando a eficácia na recuperação de resultados relevantes. Para o referido conceito, quando o classificador identifica um exercício, ele proporcionaliza os positivos verdadeiros em relação aos falsos negativos de forma percentual, onde, neste trabalho foi identificado uma média, próxima de 78%, demonstrando ter uma boa sensibilidade ao classificar um dos/exercícios físicos.

Os valores de *F1-Score*, apresentados através da aplicação do algoritmo inteligente baseado em K-NN para classificação do exercício físico, foram próximos de 80% para o BP, 72% para a CE, 85% para a ME e 79% para o PC, chegando aos valores aproximados de média macro de 79% e média ponderada de 79%. Segundo Vilela Junior *et al.* (2022), o *F1-score* é a média harmônica entre a precisão e a sensibilidade, sendo, portanto, uma medida de desempenho do ML, que identifica os valores de confiabilidade do *output*. O *F1-score* apresentado pelo classificador é de aproximadamente 79% demonstrando ter um bom desempenho ao classificar um dos exercícios físicos.

Os valores de *FMI*, apresentados através da aplicação do algoritmo inteligente baseado em K-NN para classificação do exercício físico, foram próximos de 80% para o BP, 75% para a CE, 86% para a ME e 79% para o PC, chegando aos valores aproximados de média macro de 80% e média ponderada de 81%. Segundo Vilela Junior *et al.* (2022), o *FMI* se baseia na precisão e sensibilidade para gerar uma média geométrica, sendo muito eficiente em caso de dados que não estão relacionados.

O valor da acurácia, apresentados através da aplicação do algoritmo inteligente baseado em K-NN para classificação do exercício físico, foi de 80,08%. Para Vilela Junior *et al.* (2022), a acurácia é considerada um parâmetro central ao avaliar classificadores, sendo este um valor percentual dos casos verdadeiros em relação ao todo. O valor de acurácia apresentado pelo classificador deste estudo demonstrou ter boa acurácia ao classificar um dos exercícios físicos.

Sugere-se que, os dados aqui reportados, possam ser utilizados em novos modelos de prototipagem utilizando a IA para contribuir com as buscas por soluções que levem a ciência a aproximar-se da realidade da vida livre. Os protótipos tendem a ser melhores na medida em que novas possibilidades de *inputs* surgem através de novas tecnologias e dados de programação, como os reportados neste estudo, que podem contribuir com o desenvolvimento de novas ferramentas cada vez mais complexas. Espera-se que, em estudos futuros, a utilização do algoritmo inteligente baseado em K-NN, como o aqui apresentado, possam identificar exercícios físicos em meio a uma extensa rotina de vida livre, para que, além da classificação, possam futuramente identificar, contabilizar e alimentar o treinamento do classificador em camadas mais profundas de IA.

Outro desafio importante para os próximos passos da ciência, é utilização da prototipagem, devendo esta se tornar cada vez mais popular entre estudiosos que estão em busca de soluções para demandas de pesquisa. Neste estudo a tecnologia Arduino se apresenta como uma solução economicamente viável e de fácil acesso para pesquisadores de todas as áreas. Tais ferramentas, sejam *hardware* ou *software*, estão se tornando formas de aumentar as possibilidades de desenvolvimento de pesquisas, tornando-se uma tendencia para programas que tenham esse intuito.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A IA é baseada em três nós que são o *input*, o processamento e o *output*, onde o processamento se baseia em um algoritmo capaz de resolver algum problema, sendo este o *software*, enquanto os *inputs* coletam dados e *outputs* apresentam o resultado do processamento, sendo estes os *hardwares*. O desenvolvimento de novas tecnologias são fundamentais para o processo de evolução da ciência, chegando ao ponto de influenciarem diretamente a forma como os estudos são desenvolvidos. A prototipagem é uma realidade que precisa ser mais difundida entre acadêmicos e estudiosos, sendo uma forma de aumentar as possibilidades de desenvolvimento de estudos, atrelado ao baixo custo. O processamento através de algoritmo inteligente é uma ferramenta que, para se manuseada, necessita de habilidade em programação, portanto, para um pesquisador manusear a referida ferramenta, precisa entendê-la primeiramente. Nesse contexto de novas tecnologias, a prototipagem e a IA já são ferramentas consolidadas em suas aplicações para desenvolvimento de estudos na área da saúde e do movimento humano.

O presente trabalho desenvolveu o proposto *hardware* e algoritmo inteligente, capazes de gerarem dados, através de prototipagem baseada em tecnologia Arduino de baixo custo, para ser processado através de algoritmo inteligente baseado em K-NN para classificação de exercício físico. Nesse sentido, foram utilizados uma placa com acelerômetro e giroscópio correspondente ao MPU-6050 controlada por uma placa Arduino Pró Mini, que gravou os dados em um Módulo Cartão Micro SD, enquanto reportava os dados simultaneamente pelo Display *Organic Light-Emitting Diode* (OLED), todos suportados por um Case de Acrílico dentro de uma Cinta e alimentados por uma

Bateria Recarregável de 9 volts. O protótipo foi programado no *Microsoft Arduino IDE* para coletar dados através do acelerômetro e do giroscópio e gravar no micro SD.

Após um protocolo de coleta de dados, envolvendo 16 indivíduos que executaram quatro exercícios físicos (BP, CE, ME e PC), através de três séries de três repetições, tivemos os referidos dados separados manualmente para treinar um classificador que, através de algoritmo inteligente baseado em K-NN, identificou os exercícios físicos. O algoritmo foi escrito em linguagem *Python*TM no *Software Visual Studio Code*[®] e foi capaz de alcançar uma média macro de precisão próximo de 85%, de sensibilidade próximo de 78%, de F1-Score próximo de 79%, FMI próximo de 80% e especificidade próximo de 93%. O algoritmo inteligente baseado em K-NN, ao ler os dados coletados pelo protótipo através do protocolo experimental aqui reportado, apresentou uma acurácia de 80,08%. Os dados apresentados evidenciam que a Hipótese experimental do presente trabalho foi confirmada.

Com o intuito de estimular o desenvolvimento de novos estudos envolvendo o tema, o presente trabalho apresentou todos os dados da programação do protótipo e do algoritmo inteligente. Sugiro que os próximos passos sigam em direção da utilização do referido modelo para classificar em vida livre após a implementação de identificador que possa contabilizar exercícios físicos. O próximo passo só poderá seguir com a possibilidade de implementação de tecnologias com maior poder de processamento, tal cenário, provavelmente, possibilitará uma mudança de paradigma nas ciências do movimento humano (educação física, fisioterapia, ortopedia) com análises,

intervenções e diagnósticos mais precisos e confiáveis na classificação de diferentes movimentos locomotores.

11. REFERÊNCIAS

ABDAVI, F.; KHODADADI, M. R.; HEIDARI PARAM, A.; PASHAIE, S. Designing the Prototype of Smart Athletes Recording Equipment Based on Internet of Things Using the Arduino Board.

Journal of Advanced Sport Technology, 3, n. 2, p. 42-49, 2019.

AHMED, N. Direct metal fabrication in rapid prototyping: A review. **Journal of Manufacturing Processes**, 42, p. 167-191, 2019/06/01/ 2019.

ALRAHAWA, E. A.; HUMBE, V. T.; SHINDE, G. An Analysis on Biometric Traits Recognition.

International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN, p. 2278-3075, 2019.

ANDRIOLA, W. B. Impactos da robótica no ensino básico: estudo comparativo entre escolas públicas e privadas. **Ciência & Educação (Bauru)**, 27, 2021.

BAUMAN, A. E.; PETERSEN, C. B.; BLOND, K.; RANGUL, V. *et al.* The Descriptive Epidemiology of Sedentary Behaviour. *In*: LEITZMANN, M. F.; JOCHEM, C., *et al* (Ed.). **Sedentary Behaviour Epidemiology**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 73-106.

CAMBURN, B.; VISWANATHAN, V.; LINSEY, J.; ANDERSON, D. *et al.* Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines. **Design Science**, 3, p. e13, 2017.

CHAKI, J.; THILLAI GANESH, S.; CIDHAM, S. K.; ANANDA THEERTAN, S. Machine learning and artificial intelligence based Diabetes Mellitus detection and self-management: A systematic review. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, 2020/07/04/ 2020.

CHOI, D.-J.; PARK, J. J.; ALI, T.; LEE, S. Artificial intelligence for the diagnosis of heart failure. **npj Digital Medicine**, 3, n. 1, p. 54, 2020/04/08 2020.

COHEN, J., 1992, **Things I have learned (so far)**. American Psychological Association.

COOPER, G. **Sports Training and Exercise Physiology**. Nova York: 2017. 9781682864982.

DE LUCA, G. E.; CARNUCCIO, E. A.; GARCIA, G. G.; BARILLARO, S., 2016, **IoT fall detection system for the elderly using Intel Galileo development boards generation I**. 1-6.

DIMITROPOULOS, K.; DARAS, P.; MANITSARIS, S.; FOL LEYMARIE, F. *et al.* Editorial: Artificial Intelligence and Human Movement in Industries and Creation. **Frontiers in robotics and AI**, 8, p. 712521-712521, 2021.

EDEN, J.; BRÄCKLEIN, M.; IBÁÑEZ, J.; BARSACKIOGLU, D. Y. *et al.* Principles of human movement augmentation and the challenges in making it a reality. **Nature Communications**, 13, n. 1, p. 1345, 2022/03/15 2022.

EL-GAYAR, O. F.; AMBATI, L. S.; NAWAR, N. Wearables, artificial intelligence, and the future of healthcare. *In: AI and Big Data's Potential for Disruptive Innovation*: IGI Global, 2020. p. 104-129.

FABRIZIO, C.; TERMINE, A.; CALTAGIRONE, C.; SANCESARIO, G. Artificial Intelligence for Alzheimer's Disease: Promise or Challenge? **Diagnostics**, 11, n. 8, p. 1473, 2021.

GAO, Z.; LIU, W.; MCDONOUGH, D. J.; ZENG, N. *et al.* The Dilemma of Analyzing Physical Activity and Sedentary Behavior with Wrist Accelerometer Data: Challenges and Opportunities. **Journal of Clinical Medicine**, 10, n. 24, p. 5951, 2021.

GAVRILOVA, M. L.; AHMED, F.; BARI, A. S. M. H.; LIU, R. *et al.* Multi-Modal Motion-Capture-Based Biometric Systems for Emergency Response and Patient Rehabilitation. *In: MANAGEMENT ASSOCIATION, I. R. (Ed.). Research Anthology on Rehabilitation Practices and Therapy*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2021. p. 653-678.

GUO, Y.; HAO, Z.; ZHAO, S.; GONG, J. *et al.* Artificial Intelligence in Health Care: Bibliometric Analysis. **J Med Internet Res**, 22, n. 7, p. e18228, 2020/7/29 2020.

HALL, G.; LADDU, D. R.; PHILLIPS, S. A.; LAVIE, C. J. *et al.* A tale of two pandemics: How will COVID-19 and global trends in physical inactivity and sedentary behavior affect one another? **Progress in cardiovascular diseases**, 64, p. 108, 2021.

HASEEBA, N. A.; GLINDS, L. D. A Movement Decomposition and KNN-Based Fall Detection. **International Journal of Scientific Engineering and technology Research**, 07, n. 11, p. 1877-1884, 2018.

HASIBUZZAMAN, M.; SHUFIAN, A.; SHEFA, R. K.; RAIHAN, R. *et al.*, 2020, **Vibration Measurement & Analysis Using Arduino Based Accelerometer**. 508-512.

HASSOON, A.; BAIG, Y.; NAIMAN, D. Q.; CELENTANO, D. D. *et al.* Randomized trial of two artificial intelligence coaching interventions to increase physical activity in cancer survivors. **npj Digital Medicine**, 4, n. 1, p. 1-6, 2021.

HSIEH, S. T.; LIN, C. L., 2020, **Fall Detection Algorithm Based on MPU6050 and Long-Term Short-Term Memory network**. 1-5.

HUANG, S.; YANG, J.; FONG, S.; ZHAO, Q. Artificial intelligence in cancer diagnosis and prognosis: Opportunities and challenges. **Cancer Letters**, 471, p. 61-71, 2020/02/28/ 2020.

HYSENLLARI, E.; OTTENBACHER, J.; MCLENNAN, D. Validation of human activity recognition using a convolutional neural network on accelerometer and gyroscope data. **German Journal of Exercise and Sport Research**, 52, n. 2, p. 248-252, 2022/06/01 2022.

JEFIZA, A.; PRAMUNANTO, E.; BOEDINOEGROHO, H.; PURNOMO, M. H., 2017, **Fall detection based on accelerometer and gyroscope using back propagation**. 1-6.

KAMIO, C.; AIHARA, T.; MINORIKAWA, G. Development of human movement measurement device for long-term measurements. **Measurement**, 157, p. 107671, 2020/06/01/ 2020.

KATZMARZYK, P. T.; POWELL, K. E.; JAKICIC, J. M.; TROIANO, R. P. *et al.* Sedentary Behavior and Health: Update from the 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee. **Med Sci Sports Exerc**, 51, n. 6, p. 1227-1241, Jun 2019.

KAUL, V.; ENSLIN, S.; GROSS, S. A. History of artificial intelligence in medicine. **Gastrointestinal Endoscopy**, 92, n. 4, p. 807-812, 2020/10/01/ 2020.

KERCHER, V. M.; KERCHER, K.; BENNION, T.; LEVY, P. *et al.* 2022 Fitness Trends from Around the Globe. **ACSM's Health & Fitness Journal**, 26, n. 1, 2022.

KH, A.; IBRAHIM, L. M. Survey on Human Activity Recognition using Smartphone. **AL-Rafidain Journal of Computer Sciences and Mathematics**, 15, n. 1, p. 55-67, 06/01 2021.

KHAIRUDDIN, I. M.; SIDEK, S. N.; MAJEED, A. P. P. A.; PUZI, A. A., 2019, **Classifying Motion Intention from EMG signal: A k-NN Approach**. 1-4.

KHANKALANTARY, S.; RANJBARAN, S.; EBADOLLAHI, S. Simplification of calibration of low-cost MEMS accelerometer and its temperature compensation without accurate laboratory equipment. **Measurement Science and Technology**, 32, n. 4, p. 045102, 2021/02/10 2021.

KIM, K.-B.; JANG, W.; CHO, J. Y.; WOO, S. B. *et al.* Transparent and flexible piezoelectric sensor for detecting human movement with a boron nitride nanosheet (BNNS). **Nano Energy**, 54, p. 91-98, 2018/12/01/ 2018.

KONDAVEETI, H. K.; KUMARAVELU, N. K.; VANAMBATHINA, S. D.; MATHE, S. E. *et al.* A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. **Computer Science Review**, 40, p. 100364, 2021/05/01/ 2021.

KULKARNI, S.; SENEVIRATNE, N.; BAIG, M. S.; KHAN, A. H. A. Artificial Intelligence in Medicine: Where Are We Now? **Academic Radiology**, 27, n. 1, p. 62-70, 2020/01/01/ 2020.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. d. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. BARUERI: 2021. 9788597026566.

LEE, Y.-S.; PARK, W.-H. Diagnosis of Depressive Disorder Model on Facial Expression Based on Fast R-CNN. **Diagnostics**, 12, n. 2, p. 317, 2022.

LI, H.; XU, M. Application of Accelerometer to Monitor Students' Exercise Load in 50 m Round Trip. **Computational Intelligence and Neuroscience**, 2022, p. 3142677, 2022/06/29 2022.

LIMA, B. N.; BALDUCCI, P.; PASSOS, R. P.; NOVELLI, C. *et al.* Artificial intelligence based on fuzzy logic for the analysis of human movement in healthy people: a systematic review. **Artificial Intelligence Review**, 54, n. 2, p. 1507-1523, 2021/02/01 2021.

LIU, T.; WILCZYŃSKA, D.; LIPOWSKI, M.; ZHAO, Z. Optimization of a Sports Activity Development Model Using Artificial Intelligence under New Curriculum Reform. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 18, n. 17, p. 9049, 2021.

MADDOX, T. M.; RUMSFELD, J. S.; PAYNE, P. R. O. Questions for Artificial Intelligence in Health Care. **JAMA**, 321, n. 1, p. 31-32, 2019.

MAIA NETO, S. C.; SILVA, V. M. L.; SILVA, J. W. C.; SOUSA, R. R. Plataforma de prototipagem arduino no ensino da física: uma revisão sistemática da literatura Arduino prototype platform in physics teaching: a systematic. **Brazilian Journal of Development**, 7, n. 7, p. 65714-65737, 2021.

MARCHETTI, P. H.; LOPES, C. R. **Planejamento e Periodização do Treinamento Personalizado: Do Iniciante ao Avançado**. 2ed ed. Santa Barbara do Oeste: 2018. 9788561850210.

MCRBERTS, M. **Arduino Básico**. Tradução COSTA, J. E. 2 ed ed. São Paulo: Novatec Editora, 2018. 978-85-7522-711-4.

MEKRUKSAVANICH, S.; JANTAWONG, P.; JITPATTANAKUL, A., 2022, **Recognition of Complex Human Activities for Wellness Management from Smartwatch using Deep Residual Neural Network**. 350-353.

MELO, J.; FIDELIS, M.; ALVES, S.; FREITAS, U. *et al.*, 2020, **A comprehensive review of Visual Programming Tools for Arduino**. 1-6.

MUZAMMEL, M.; SALAM, H.; HOFFMANN, Y.; CHETOUANI, M. *et al.* AudVowelConsNet: A phoneme-level based deep CNN architecture for clinical depression diagnosis. **Machine Learning with Applications**, 2, p. 100005, 2020/12/15/ 2020.

NDUANYA, U.; OLEKA, C.; ORJI, E. Design and implementation of arduinobased gesturecontrolled system with accelerometer. **International Journal of Recent Trends in Engineering & Research**, 04, n. 07, 2018.

NITHYA, N.; NALLAVAN, G., 2021, **Role of Wearables in Sports based on Activity recognition and biometric parameters: A Survey**. 1700-1705.

NOORBAKHSH-SABET, N.; ZAND, R.; ZHANG, Y.; ABEDI, V. Artificial Intelligence Transforms the Future of Health Care. **The American Journal of Medicine**, 132, n. 7, p. 795-801, 2019.

PATEL, A. V.; FRIEDENREICH, C. M.; MOORE, S. C.; HAYES, S. C. *et al.* American College of Sports Medicine Roundtable Report on Physical Activity, Sedentary Behavior, and Cancer Prevention and Control. **Med Sci Sports Exerc**, 51, n. 11, p. 2391-2402, Nov 2019.

PEREZ-POZUELO, I.; SPATHIS, D.; CLIFTON, E. A. D.; MASCOLO, C. Chapter 3 - Wearables, smartphones, and artificial intelligence for digital phenotyping and health. *In*: SYED-ABDUL, S.; ZHU, X., *et al* (Ed.). **Digital Health**: Elsevier, 2021. p. 33-54.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, A.; ZANIN, M.; MENASALVAS-RUIZ, E. Public Health and Epidemiology Informatics: Can Artificial Intelligence Help Future Global Challenges? An Overview of Antimicrobial Resistance and Impact of Climate Change in Disease Epidemiology. **Yearb Med Inform**, 28, n. 01, p. 224-231, //

16.08.2019 2019.

RONG, G.; MENDEZ, A.; BOU ASSI, E.; ZHAO, B. *et al.* Artificial Intelligence in Healthcare: Review and Prediction Case Studies. **Engineering**, 6, n. 3, p. 291-301, 2020/03/01/ 2020.

SCHWALBE, N.; WAHL, B. Artificial intelligence and the future of global health. **The Lancet**, 395, n. 10236, p. 1579-1586, 2020/05/16/ 2020.

SHEIKH, S.; SHABAN, K., 2020, **Finding Behavioural and Imaging Biomarkers of Major Depressive Disorder (MDD) using Artificial Intelligence: A Review**. 7-12.

SHI, F.; WANG, J.; SHI, J.; WU, Z. *et al.* Review of Artificial Intelligence Techniques in Imaging Data Acquisition, Segmentation, and Diagnosis for COVID-19. **IEEE Reviews in Biomedical Engineering**, 14, p. 4-15, 2021.

SOLEIMANI, M. A.; ZOHOOR, H.; YAKHDANI, A. F.; HERAVI, M. *et al.*, 2019, **Designing, Prototyping, and Controlling a Portable Rehabilitation Robot for the Shoulder Physiotherapy and Training**. 281-284.

SONG, Z.; TIAN, C.; DAI, J. S. Mechanism design and analysis of a proposed wheelchair-exoskeleton hybrid robot for assisting human movement. **Mech. Sci.**, 10, n. 1, p. 11-24, 2019.

SOPHOKLEOUS, A.; CHRISTODOULOU, P.; DOITSIDIS, L.; CHATZICHRISTOFIS, S. A. Computer vision meets educational robotics. **Electronics**, 10, n. 6, p. 730, 2021.

THIÉBAUT, R.; THIESSARD, F. Artificial Intelligence in Public Health and Epidemiology. **Yearb Med Inform**, 27, n. 01, p. 207-210, 2018.

VAN ROY, V.; VERTESY, D.; DAMIOLI, G. AI and Robotics Innovation. *In*: ZIMMERMANN, K. F. (Ed.). **Handbook of Labor, Human Resources and Population Economics**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 1-35.

VERMA, K. R.; PANDEY, M.; CHAWLA, P.; CHOUDHURY, H. *et al.* An Insight into the Role of Artificial Intelligence in the Early Diagnosis of Alzheimer's Disease. **CNS & Neurological Disorders - Drug Targets**, 20, p. 1-12, 2021.

VILELA JUNIOR, G. B.; FILENI, C. H. P.; MARTINS, G. C.; CAMARGO, L. B. *et al.* Você está Preparado para a Educação 5.0? **Revista CPAQV—Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida** | Vol, 12, n. 1, p. 2, 2020.

VILELA JUNIOR, G. B.; LIMA, B. N.; PEREIRA, A. A.; RODRIGUES, M. F. *et al.* Métricas utilizadas para avaliar a eficiência de classificadores em algoritmos inteligentes. 14, n. 2, 2022.

VILELA JUNIOR, G. B.; PASSOS, R. P. **Inteligência Artificial nas Ciências da Saúde**. 1 ed ed.
Campinas: 2020a. ISBN 978-65-00-00472-4.

VILELA JUNIOR, G. B.; PASSOS, R. P. **Reflexões Epistemológicas na Área da Saúde**. Campinas:
2020b. 978-65-900406-1-9.

VILELA JUNIOR, G. d. B.; LIMA, B. N.; PEREIRA, A. A.; RODRIGUES, M. F. *et al.* Métricas utilizadas para avaliar a eficiência de classificadores em algoritmos inteligentes. **Revista CPAQV-Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida-CPAQV Journal**, 14, n. 2, 2022.

VILONE, G.; LONGO, L. Explainable Artificial Intelligence: a Systematic Review. p.
arXiv:2006.00093, Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020arXiv200600093V>.
Acesso em: May 01, 2020.

WAGNER, D. Artificial Intelligence and the dark side of management. **ROBONOMICS: The Journal of the Automated Economy**, 1, p. 10-10, 2021.

WAHL, B.; COSSY-GANTNER, A.; GERMANN, S.; SCHWALBE, N. R. Artificial intelligence (AI) and global health: how can AI contribute to health in resource-poor settings? **BMJ Global Health**, 3, n. 4, p. e000798, 2018.

WALTERS, W. H. Beyond use statistics: Recall, precision, and relevance in the assessment and management of academic libraries. **Journal of Librarianship and Information Science**, 48, n. 4, p. 340-352, 2016/12/01 2015.

WANG, S.; ZHANG, Y.; LEI, S.; ZHU, H. *et al.* Performance of deep neural network-based artificial intelligence method in diabetic retinopathy screening: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy. **European Journal of Endocrinology**, 183, n. 1, p. 41-49, 01 Jul. 2020 2020.

YASMIN, F.; SHAH, S. M. I.; NAEEM, A.; SHUJAUDDIN, S. M. *et al.* Artificial intelligence in the diagnosis and detection of heart failure: the past, present, and future. **Rev. Cardiovasc. Med**, 1, p. 20, 2021.

YU, S.; QIN, L.; YIN, Q., 2018, **A C-LSTM Neural Network for Human Activity Recognition Using Wearables**. 1-6.

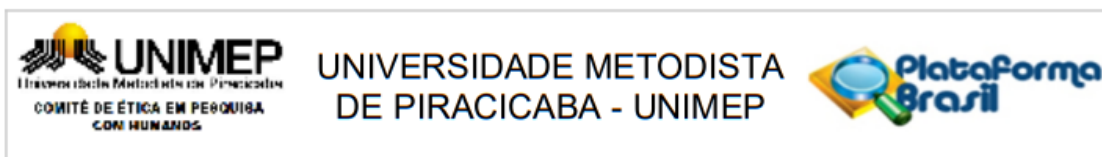
YU, Y. Accurate Recognition Method of Human Body Movement Blurred Image Gait Features Using Graph Neural Network. **Mobile Information Systems**, 2021, p. 1684726, 2021/07/15 2021.

ZAGO, M.; KLEINER, A. F. R.; FEDEROLF, P. A. Editorial: Machine Learning Approaches to Human Movement Analysis. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, 8, 2021-January-22 2021. Editorial.

ZHANG, N.; LEE, E.-J. Human Action Recognition Based on An Improved Combined Feature Representation. **한국멀티미디어학회논문지**, 21, n. 12, p. 1473-1480, 12/31 2018.

ZHENG, Y.; TANG, N.; OMAR, R.; HU, Z. *et al.* Smart Materials Enabled with Artificial Intelligence for Healthcare Wearables. **Advanced Functional Materials**, 31, n. 51, p. 2105482, 2021/12/01 2021. <https://doi.org/10.1002/adfm.202105482>.

ANEXO I - PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: MÉTODOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS NA ANÁLISE DO MOVIMENTO HUMANO

Pesquisador: GUANIS DE BARROS VILELA JUNIOR

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 33912120.9.0000.5507

Instituição Proponente: INSTITUTO EDUCACIONAL PIRACICABANO DA IGREJA METODISTA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.126.546

Apresentação do Projeto:

Projeto adequadamente apresentado, contendo todos os dados necessários para sua análise.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivos claros, coerentes com o desenho do projeto e exequíveis dentro do cronograma exposto.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos aos sujeitos são mínimos e o projeto assegura o cuidado para reduzi-los. Os benefícios (diretos e indiretos) aos sujeitos estão presentes e superam os riscos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Destacam-se a relevância e as contribuições da pesquisa apresentada. As bases teóricas estão adequadas, a metodologia é coerente e a coleta de dados é adequada à proposta.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE apresenta as informações necessárias. Acrescentar no início do texto a frase: Você está sendo convidado(a) a participar de um estudo na área da Ciências do Movimento Humano.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto está aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este colegiado acolhe o parecer acima descrito e aprova o projeto.

Endereço: Rodovia do Açúcar, Km 156

Bairro: Taquaral

CEP: 13.400-911

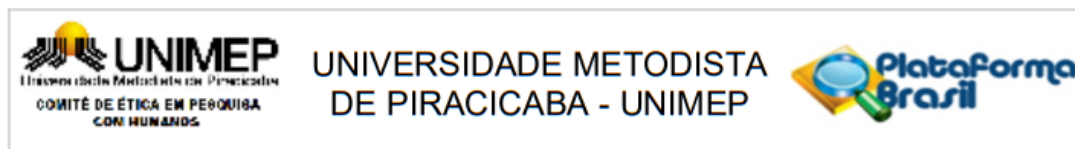
UF: SP

Município: PIRACICABA

Telefone: (19)3124-1513

Fax: (19)3124-1515

E-mail: comitedeetica@unimep.br



Continuação do Parecer: 4.126.546

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

| Tipo Documento | Arquivo | Postagem | Autor | Situação |
|---|--|------------------------|--------------------------------|----------|
| Informações Básicas do Projeto | PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1578982.pdf | 17/06/2020 17:36:01 | | Aceito |
| Folha de Rosto | folhaDeRosto_guanis.pdf | 17/06/2020 17:35:20 | GUANIS DE BARROS VILELA | Aceito |
| Declaração de Pesquisadores | Declaracao_Responsabilidade_Pesquisador_Guanis.pdf | 17/06/2020 16:38:49 | GUANIS DE BARROS VILELA | Aceito |
| Projeto Detalhado / Brochura Investigador | Projeto.pdf | 17/06/2020 16:37:50 | GUANIS DE BARROS VILELA JUNIOR | Aceito |
| TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência | TCLE.pdf | 17/06/2020 16:32:28 | GUANIS DE BARROS VILELA JUNIOR | Aceito |

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PIRACICABA, 01 de Julho de 2020

Assinado por:
Thiago Borges de Aguiar
(Coordenador(a))

Endereço: Rodovia do Açúcar, Km 156
Bairro: Taquaral **CEP:** 13.400-911
UF: SP **Município:** PIRACICABA
Telefone: (19)3124-1513 **Fax:** (19)3124-1515 **E-mail:** comitedeetica@unimep.br