

# Revisão da Literatura: Sistema de Monitoramento e Correção de Exercícios com Halteres Utilizando Sensores Inerciais para Academias Inteligentes

Douglas Aquino Teixeira Mendes

26 de janeiro de 2025

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Fontes de Dados</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Metodologia de Busca</b>	<b>3</b>
3.1	Estratégia de Busca . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Resultados da Busca</b>	<b>6</b>
4.1	Triagem de Estudos . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Discussão dos Estudos Seleccionados</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Avaliação da Qualidade</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>12</b>

# 1 Introdução

O tema desta pesquisa é o "Sistema de Monitoramento e Correção de Exercícios com Halteres Utilizando Sensores Inerciais para Academias Inteligentes".

A problemática central envolve os seguintes desafios:

- **Variabilidade entre Usuários:** Desenvolver um sistema que seja preciso para diferentes usuários, considerando variações de altura, peso, força e técnica de execução.
- **Precisão na Detecção de Movimentos:** Garantir a precisão na detecção dos movimentos dos halteres, como amplitude, velocidade e aceleração, para fornecer feedback preciso e evitar falsos positivos.
- **Latência do Sistema:** O feedback deve ser fornecido em tempo real, com mínima latência, para que o usuário possa corrigir sua postura durante a execução do exercício.

A questão de pesquisa que guia este estudo é: *Como desenvolver um sistema de monitoramento e correção de exercícios com halteres em tempo real, utilizando sensores inerciais e feedback personalizado, que seja preciso, robusto a diferentes usuários e ambientes, e que se integre a academias inteligentes?*

## 2 Fontes de Dados

As bases de dados selecionadas incluem:

- **IEEE Xplore:** Relevante para artigos que tratam de sensores inerciais e outras tecnologias aplicadas a sistemas de monitoramento, especialmente no contexto de engenharia e computação.
- **PubMed:** Relevante para a busca de estudos relacionados à saúde, fisioterapia, correção de exercícios e prevenção de lesões, com foco em tecnologias aplicadas à área médica e esportiva.
- **Google Scholar:** Será utilizado para busca de literatura cinzenta, como teses, dissertações e relatórios técnicos, que podem não estar indexados em bases de dados comerciais.
- **ACM Digital Library:** Focada em ciência da computação e sistemas de informação, será útil para pesquisas sobre sistemas inteligentes e tecnologias de monitoramento aplicadas à academia.

### 3 Metodologia de Busca

Com base no tema escolhido, a formulação da questão de pesquisa pode ser guiada pela estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Desfecho), que organiza os principais aspectos da pesquisa. Abaixo está a Tabela 1 com os pontos de vista, o tema principal relacionado e possíveis sinônimos para cada elemento, que podem ser utilizados para construir uma estratégia de busca abrangente.

Ponto de Vista	Tema Principal	Sinônimos/Termos Relacionados
População (P)	Usuários de halteres	Academia, fisioterapia, atividade física, praticantes de musculação, treino com pesos
Intervenção (I)	Sensores inerciais	Acelerômetro, giroscópio, dispositivos inerciais
Comparação (C)	Monitoramento por vídeo	Supervisão humana, acompanhamento por instrutores
Desfecho (O)	Correção de exercícios	Precisão no monitoramento, reconhecimento de exercícios, melhoria no desempenho, redução de lesões, correção postural

Tabela 1: Estrutura PICO com temas principais e sinônimos.

Para garantir que os estudos selecionados sejam relevantes e adequados para responder à questão de pesquisa, é preciso definir os critérios de inclusão e exclusão. Esses critérios ajudam a restringir a revisão da literatura apenas aos estudos que fornecem evidências confiáveis e pertinentes sobre o uso de sensores inerciais para o monitoramento de exercícios com halteres em academias inteligentes.

Os critérios definidos são:

- **Tipo de estudo:** Apenas estudos experimentais que investigam o uso de sensores inerciais em ambientes de academia ou em cenários similares a monitoramento de exercícios serão incluídos. Estudos teóricos ou puramente descritivos serão excluídos.
- **População:** Estudos que envolvem usuários de halteres ou praticantes de musculação serão incluídos, assim como estudos que utilizam sensores inerciais para reconhecimento de movimentos. Estudos que analisam exercícios em equipamentos significativamente diferentes de halteres serão excluídos.
- **Tipo de intervenção:** Serão incluídos estudos que utilizem sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios, para monitoramento e correção de movimentos.
- **Comparação:** Serão incluídos estudos com métodos tradicionais de monitoramento, como acompanhamento por vídeo ou supervisão humana.
- **Data de publicação:** Apenas estudos publicados nos últimos 6 anos serão incluídos, para garantir a relevância e atualidade das tecnologias investigadas.
- **Idioma:** Serão incluídos estudos publicados em inglês ou português. Artigos em outros idiomas serão excluídos.
- **Disponibilidade de dados:** Serão excluídos estudos que não disponibilizam dados suficientes para análise ou que sejam inacessíveis por completo (por exemplo, apenas resumos).

### 3.1 Estratégia de Busca

A estratégia de busca foi desenvolvida com o objetivo de identificar estudos relacionados ao tema proposto. Para isso, foi utilizada uma combinação de termos principais, sinônimos e palavras-chave, associados por operadores booleanos.

A busca será realizada nas bases de dados listadas na seção 2. A seguir, está descrita a estratégia geral para a realização da busca:

- Os termos de pesquisa foram estruturados com base nos elementos chave da questão de pesquisa, seguindo a estrutura PICO (População, Intervenção e Desfecho).

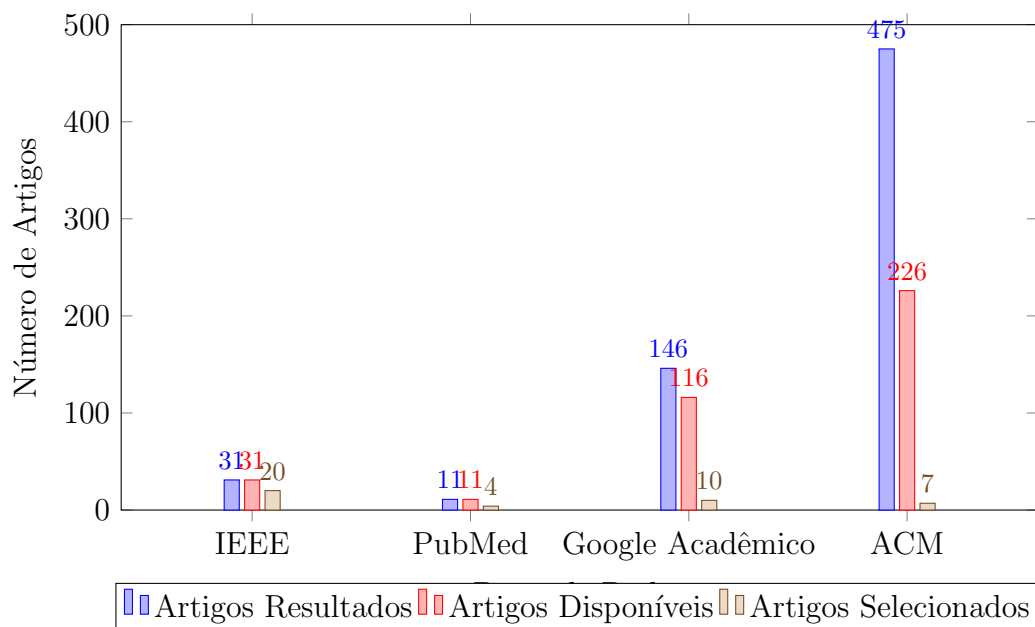
- Para a população (**usuários de halteres**), foram utilizados os seguintes termos e sinônimos: *“weightlifting users”, “gym users”, “strength training participants”, “physical activity practitioners”*.
- Para a intervenção (**sensores inerciais**), os termos e sinônimos incluem: *“inertial sensors”, “IMU sensors”, “accelerometers”, “gyroscopes”*.
- Para o desfecho (**reconhecimento e correção de exercícios**), os termos incluem: *“exercise recognition”, “movement recognition”, “exercise correction”, “injury prevention”, “movement correction”, “exercise form improvement”*.
- Operadores booleanos, como AND e OR, foram utilizados para combinar os termos e sinônimos, resultando nas seguintes strings de busca, uma em inglês e outra em português:
  - **Inglês:**  
(weightlifting users OR gym OR strength training participants OR physical activity practitioners) AND (inertial sensors OR IMU sensors OR accelerometers OR gyroscopes) AND (exercise recognition OR movement recognition OR exercise correction OR injury prevention OR movement correction OR exercise form improvement) NOT (systematic review OR theoretical)
  - **Português:** (musculação OR academia OR treinamento de força OR praticantes de atividade física) AND (sensores inerciais OR sensores IMU OR acelerômetros OR giroscópios) AND (reconhecimento de exercício OR reconhecimento de movimento OR correção de exercício OR prevenção de lesões OR correção de movimento OR melhoria da forma do exercício) NOT (revisão sistemática OR teórico)
- Além disso, as buscas foram refinadas utilizando filtros de data, limitando os estudos publicados nos últimos 6 anos, e de idioma, restringindo para artigos em inglês e português, e o operador booleano NOT para não incluir revisões e estudos teóricos.

A estratégia foi adaptada para cada base de dados, de modo a garantir a adequação dos termos ao mecanismo de busca de cada plataforma. A combinação de sinônimos e operadores booleanos permitiu uma busca abrangente dos estudos relevantes ao tema proposto.

## 4 Resultados da Busca

A aplicação das strings de busca resultou na identificação de um total de 663 artigos em diversas bases de dados, conforme descrito a seguir:

- **IEEE:** 31 artigos
- **PubMed:** 11 artigos
- **Google Acadêmico:** 146 artigos
- **ACM:** 475 artigos



### 4.1 Triagem de Estudos

A triagem foi realizada com base na leitura dos títulos, resumos e conclusões dos artigos identificados. Grande parte dos trabalhos foi descartada por não apresentar o artigo completo disponível. Após essa etapa, dos 663 artigos iniciais, foi possível obter acesso completo a 384 artigos, dos quais, após a triagem inicial, 41 foram selecionados para análise detalhada.

**Total Encontrado: 663 trabalhos**



Figura 1: Relação de trabalhos encontrados, com acesso restrito e disponíveis

**Total lido: 384 resumos**



Figura 2: Relação de trabalhos lidos, selecionados e descartados

## 5 Discussão dos Estudos Selecionados

Tabela 2: Categorias de Análise e Trabalhos Associados

Categoria	Descrição	Trabalhos Associados
Tecnologias		
Sensores Inerciais (IMUs)	Tecnologia central para captura de dados de movimento usando acelerômetros e giroscópios.	[1]–[10]
Sensores de Pressão	Utilizados para capturar dados sobre a interação do corpo com o ambiente, como a distribuição de peso.	[11], [12]
Câmeras de Profundidade e Visão	Usadas para análise visual da postura e técnica do exercício, com possibilidade de feedback visual.	[13], [14]

*Continua na próxima página*

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Trabalhos Associados</b>
Câmeras Térmicas	Exploradas para monitorar a temperatura corporal e o esforço físico.	[13]
Plataformas de Hardware	Inclui dispositivos vestíveis, smartphones e computadores para coleta e processamento de dados.	[4], [5], [15]
<b>Metodologias</b>		
Processamento de Sinais	Técnicas para filtrar, segmentar e extrair características relevantes dos dados dos sensores.	[2], [3], [6]–[8], [16], [17]
Aprendizado de Máquina	Algoritmos como Redes Neurais e SVMs para classificar exercícios e detectar erros.	[3]–[8], [16]–[19]
Análise Bio-mecânica	Princípios biomecânicos aplicados para análise dos movimentos e métricas de desempenho.	[2], [4], [5], [14], [20], [21]
Técnicas de Fusão de Dados	Métodos para combinar informações de diferentes sensores e aumentar a precisão.	[3], [16], [20], [22]
Estratégias de Feedback	Investigações sobre feedback visual, sonoro e tátil para melhorar a experiência do usuário.	[4], [9], [11], [20]
<b>Aplicações</b>		
Monitoramento de Exercícios	Identificação do tipo de exercício, número de repetições e qualidade da técnica.	[3], [6], [7], [17]
Correção de Postura	Detecta e corrige erros posturais em tempo real, prevenindo lesões.	[4], [9], [11], [20]
Prevenção de Lesões	Foco na redução de lesões musculoesqueléticas por meio de correções técnicas.	[5], [21], [23]
Melhoria do Desempenho	Feedback para aprimorar a execução dos exercícios e o desempenho geral.	[11], [13], [14], [20], [21]

*Continua na próxima página*



<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Trabalhos Associados</b>
Academias Inteligentes	Integração com sistemas de gerenciamento para uma experiência personalizada.	[3], [9]

Tabela 3: Dificuldades encontradas e Trabalhos Associados

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fontes Associadas</b>
<b>Coleta e Qualidade dos Dados</b>	Variabilidade dos dados devido a fatores como diferenças antropométricas, condições ambientais e comportamentais.	[4], [5], [8], [11], [18], [24], [25]
	Ruído e erros de captura nos sensores, incluindo marcação incorreta de repetições e início/fim de exercícios.	[2], [3], [5], [9], [10], [21], [24], [26]
	Necessidade de normalização e alinhamento dos dados, incluindo offsets gravitacionais e orientações dos sensores.	[2], [5], [16], [20], [21], [27]
	Dificuldade em definir posturas “boas” ou “ruins” devido à falta de padrões claros.	[4], [5], [11]
<b>Sensores</b>	Escolha e posicionamento dos sensores afetam a precisão. Muitos sensores podem causar desconforto.	[2]–[5], [11]
	Necessidade de calibração e alinhamento constante dos sensores.	[2], [5], [11], [24]–[26]

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fontes Associa- das</b>
	Sensores vestíveis desconfortáveis e apresentam problemas de adaptação a diferentes tamanhos de roupas.	[2], [3], [8], [11]
<b>Reconhecimen- to de Ativida- des</b>	Movimentos complexos difíceis de classificar.	[2], [3], [9], [12], [16], [18], [27]
	Dificuldade na detecção de erros sutis que podem causar tensão ou menor ativação muscular.	[2], [4], [9], [17], [21], [28], [29]
	Modelos treinados com um grupo podem não generalizar bem para outros. Técnicas de transferência e adaptação ajudam.	
	Modelos mais precisos demandam mais tempo de processamento, afetando aplicações em tempo real.	
	Dados coletados em casa possuem menor precisão em relação a dados de laboratório.	
<b>Modelos de Machine Learning</b>	A escolha do algoritmo influencia o desempenho.	
	Alta dimensionalidade dos dados requer técnicas de redução de dimensionalidade.	
<b>Feedback</b>	Interfaces com muitas opções, confundir o usuário.	
	Feedback para atender às necessidades individuais.	

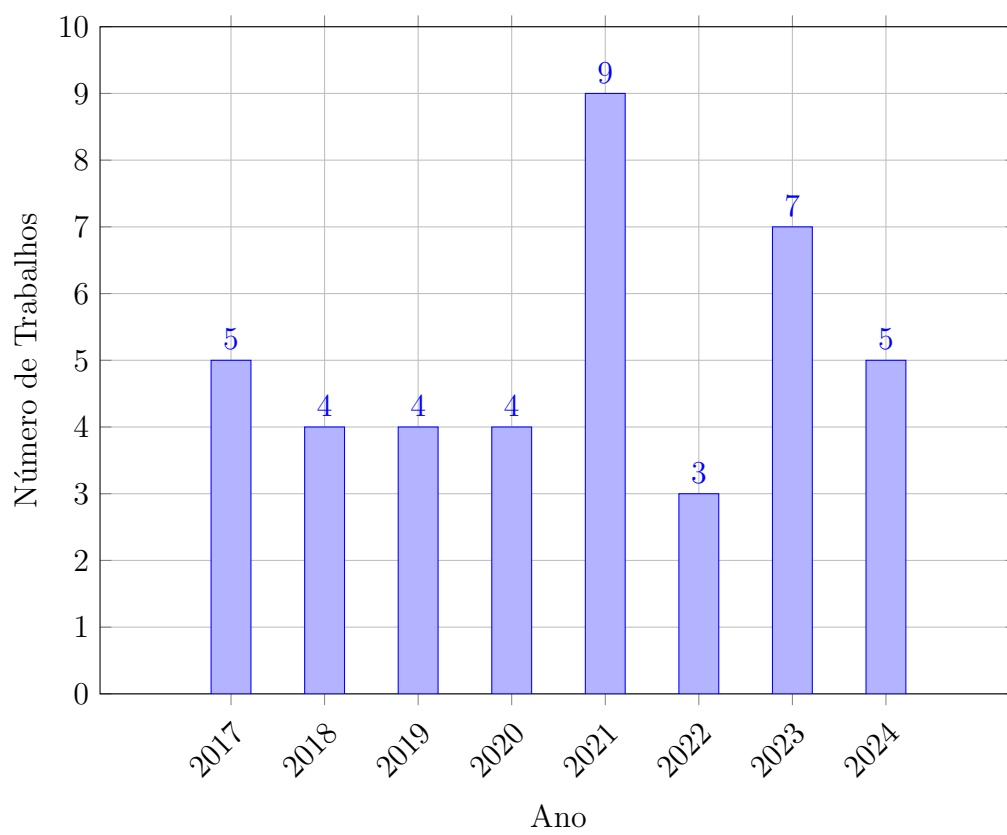


Figura 3: Número de Trabalhos por Ano de publicação

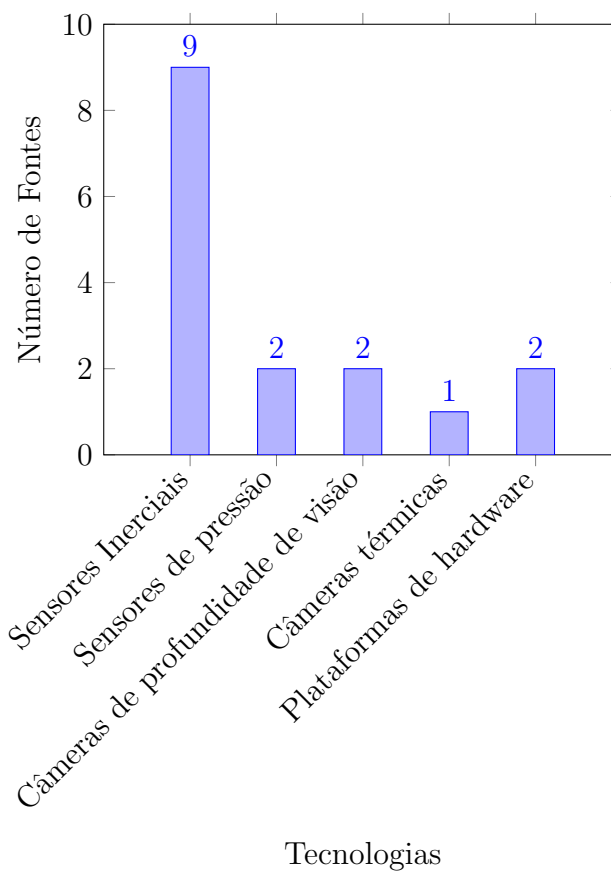


Figura 4: Distribuição do número de fontes por tecnologia.

Analise criticamente os achados de cada estudo. Identifique lacunas na literatura.

## 6 Avaliação da Qualidade

Explique os critérios utilizados para avaliar a qualidade dos estudos. Resuma os resultados dessa avaliação.

## 7 Conclusão

Síntese dos principais pontos abordados. Identificação de áreas para pesquisas futuras.

## Referências

- [1] S. Mekruksavanich, D. Tancharoen e A. Jitpattanakul, “Gym Exercise Recognition Using Deep Convolutional and LSTM Neural Network Based on IMU Sensor Data,” em *2024 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications (ITC-CSCC)*, IEEE, jul. de 2024, pp. 1–5. DOI: 10.1109/itc-csc62988.2024.10628426.
- [2] W. R. Johnson, A. Mian, M. A. Robinson, J. Verheul, D. G. Lloyd e J. A. Alderson, “Multidimensional Ground Reaction Forces and Moments From Wearable Sensor Accelerations via Deep Learning,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, v. 68, n. 1, pp. 289–297, jan. de 2021, ISSN: 1558-2531. DOI: 10.1109/tbme.2020.3006158.
- [3] J. Tian, P. Zhou, F. Sun, T. Wang e H. Zhang, “Wearable IMU-based Gym Exercise Recognition Using Data Fusion Methods,” em *The Fifth International Conference on Biological Information and Biomedical Engineering*, sér. BIBE2021, ACM, jul. de 2021, pp. 1–7. DOI: 10.1145/3469678.3469705.
- [4] P. Papadopoulou, “Towards a feedback system for upper body bodyweight exercises using multiple inertial measurement units: A user-centred approach,” 2023.
- [5] S. Gleadhill, “Validating new wearable technology methods to semi-automate biomechanical models for primary prevention of low back disorders in the workplace,” 2019. DOI: 10.25913/5EF13EBF9DCF9.
- [6] A. B. Asghar et al., “Comparative Performance Analysis of Machine Learning Algorithms for Arm and Shoulder Exercises Using Wrist-Worn Band,” *IEEE Access*, v. 11, pp. 111 598–111 607, 2023, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/access.2023.3323592.
- [7] J. Qi, Y. Yang, X. Peng, L. Newcombe, A. Simpson e P. Yang, “Experimental Analysis of Artificial Neural Networks Performance for Physical Activity Recognition Using Belt and Wristband Devices,” em *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, IEEE, jul. de 2019, pp. 2492–2495. DOI: 10.1109/embc.2019.8856617.
- [8] J. Qi, H.-N. Liang, J. Chen, X. Peng, L. Newcombe e P. Yang, “A Hybrid Hierarchical Model for Accessing Physical Activity Recognition towards Free-living Environments,” em *2020 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data &*

- Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom)*, IEEE, dez. de 2020, pp. 1342–1347. DOI: 10.1109/ispa-bdcloud-socialcom-sustaincom51426.2020.00199.
- [9] Y. Zou, D. Wang, S. Hong, R. Ruby, D. Zhang e K. Wu, “A Low-Cost Smart Glove System for Real-Time Fitness Coaching,” *IEEE Internet of Things Journal*, v. 7, n. 8, pp. 7377–7391, ago. de 2020, ISSN: 2372-2541. DOI: 10.1109/jiot.2020.2983124.
  - [10] M. Ceccarelli, S. Sanz, V. Díaz e M. Russo, “Design and Construction of a Prototype of an Assisting Device for Arm Exercise,” *Machines*, v. 12, n. 2, p. 145, fev. de 2024, ISSN: 2075-1702. DOI: 10.3390/machines12020145.
  - [11] C. Krauter, K. Angerbauer, A. Sousa Calepso, A. Achberger, S. Mayer e M. Sedlmair, “Sitting Posture Recognition and Feedback: A Literature Review,” em *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, sér. CHI ’24, ACM, mai. de 2024, pp. 1–20. DOI: 10.1145/3613904.3642657.
  - [12] E. A. H. Akpa, M. Fujiwara, Y. Arakawa, H. Suwa e K. Yasumoto, “GIFT: Glove for Indoor Fitness Tracking System,” em *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, IEEE, mar. de 2018, pp. 52–57. DOI: 10.1109/percomw.2018.8480211.
  - [13] A. Sharshar, A. Fayez, A. A. Eitta e W. Gomaa, “MM-DOS: A Novel Dataset Of Workout Activities,” em *2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, IEEE, jul. de 2022, pp. 1–8. DOI: 10.1109/ijcnn55064.2022.9892589.
  - [14] A. Sharshar, A. H. A. Eitta, A. Fayez, M. A. Khamis, A. B. Zaky e W. Gomaa, “Camera Coach: Activity Recognition and Assessment Using Thermal and RGB Videos,” em *2023 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, IEEE, jun. de 2023, pp. 1–8. DOI: 10.1109/ijcnn54540.2023.10191379.
  - [15] M. Gandomkar, R. Sarang e Z. Gandomkar, “TrainingPal: An Algorithm for Recognition and Counting Popular Exercises Using Smartphone Sensors,” em *Electrical Engineering (ICEE), Iranian Conference on*, IEEE, mai. de 2018, pp. 1471–1476. DOI: 10.1109/icee.2018.8472444.

- [16] A. Mallol-Ragolta, A. Semertzidou, M. Pateraki e B. Schuller, “harAGE: A Novel Multimodal Smartwatch-based Dataset for Human Activity Recognition,” em *2021 16th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2021)*, IEEE, dez. de 2021, pp. 01–07. DOI: 10.1109/fg52635.2021.9666947.
- [17] A. Hussain, M. Adeel Zahid, U. Ahmed, S. Nazeer, K. Zafar e A. Rauf Baig, “Time-Series Data to Refined Insights: A Feature Engineering-Driven Approach to Gym Exercise Recognition,” *IEEE Access*, v. 12, pp. 100 343–100 354, 2024, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/access.2024.3428309.
- [18] H. Kwon, G. D. Abowd e T. Plötz, “Complex Deep Neural Networks from Large Scale Virtual IMU Data for Effective Human Activity Recognition Using Wearables,” *Sensors*, v. 21, n. 24, p. 8337, dez. de 2021, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s21248337.
- [19] A. Hussain, K. Zafar, A. R. Baig, R. Almakki, L. AlSuwaidan e S. Khan, “Sensor-Based Gym Physical Exercise Recognition: Data Acquisition and Experiments,” *Sensors*, v. 22, n. 7, p. 2489, mar. de 2022, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22072489.
- [20] A. Moller et al., “GymSkill: A personal trainer for physical exercises,” em *2012 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, IEEE, mar. de 2012, pp. 213–220. DOI: 10.1109/percom.2012.6199869.
- [21] F. Michaud, M. Pérez Soto, U. Lugrís e J. Cuadrado, “Lower Back Injury Prevention and Sensitization of Hip Hinge with Neutral Spine Using Wearable Sensors during Lifting Exercises,” *Sensors*, v. 21, n. 16, p. 5487, ago. de 2021, ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s21165487.
- [22] D. Das, S. M. Busetty, V. Bharti e P. K. Hegde, “Strength Training: A Fitness Application for Indoor Based Exercise Recognition and Comfort Analysis,” em *2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, IEEE, dez. de 2017, pp. 1126–1129. DOI: 10.1109/icmla.2017.00012.
- [23] N. N. Islam, N. I. Khan, M. A. Razzak e M. N. Islam, “Design, Development, and Evaluation of a Physical Exercise Monitoring and Managing System for Athletes,” em *The 23rd International Conference on Information Integration and Web Intelligence*, sér. iiWAS2021, ACM, nov. de 2021, pp. 443–451. DOI: 10.1145/3487664.3487725.

- [24] A. Colpitts, “Kinematics-Based Recovery Metrics and Inertial Measurement Units to Monitor Recovery Post-Knee Arthroscopic Surgery: A Case Study,” *University of Waterloo*, 2023.
- [25] J. L. Ponton, H. Yun, A. Aristidou, C. Andujar e N. Pelechano, “Sparse-Poser: Real-time Full-body Motion Reconstruction from Sparse Data,” *ACM Transactions on Graphics*, v. 43, n. 1, pp. 1–14, out. de 2023, ISSN: 1557-7368. DOI: 10.1145/3625264.
- [26] W. Zhang, C. Su e C. He, “Rehabilitation Exercise Recognition and Evaluation Based on Smart Sensors With Deep Learning Framework,” *IEEE Access*, v. 8, pp. 77 561–77 571, 2020, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/access.2020.2989128.
- [27] N. Simon e C.-H. Min, “Features Analysis and Classification of Common Gym Exercises,” em *2023 IEEE World AI IoT Congress (AIIoT)*, IEEE, jun. de 2023, pp. 0561–0565. DOI: 10.1109/aiiot58121.2023.10174414.
- [28] Z. Zhang, N. Wang e L. Cui, “Fine-Fit: A Fine-grained Gym Exercises Recognition System,” em *2018 24th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, IEEE, nov. de 2018, pp. 492–497. DOI: 10.1109/apcc.2018.8633473.
- [29] H. Koskimaki e P. Siirtola, “Recognizing gym exercises using acceleration data from wearable sensors,” em *2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining (CIDM)*, IEEE, dez. de 2014, pp. 321–328. DOI: 10.1109/cidm.2014.7008685.