



SWorker: Solução Inteligente para Gestão de Riscos Operacionais Integrada com IA, Edge Computing e Sensoriamento em Tempo Real

Tema: Operação

Autores: Renan Franco De Moraes

Co-Autores: Vivian Azeredo Gusella, Willamy Siqueira Conde, Lorena Rodrigues De Almeida, André Luiz Iannicelli, Fernando Freires Cataldi

Empresa: EDP São Paulo Distribuição de Energia S.A

Resumo

No contexto das concessionárias de distribuição de energia, a melhoria das práticas de segurança no trabalho é fundamental, pois trata-se de atividades de alto risco e com possibilidade de acidentes fatais. Tradicionalmente, a mitigação desses riscos é conduzida por meio da padronização de processos, treinamentos contínuos e um rigoroso controle de normas, com forte dependência da atuação humana. O presente trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma plataforma digital denominada SWorker, a qual integra Inteligência Artificial e sensores para aprimorar a gestão de riscos operacionais com monitoramento em tempo real e análise de câmeras corporais, oferecendo respostas rápidas a riscos, garantindo eficiência, precisão e conformidade quanto aos procedimentos operacionais.

1. Introdução

A atividade profissional inerente à prestação de serviço de distribuição de energia elétrica é intrinsecamente de alto risco [1]-[4], razão pela qual é importante enfatizar as práticas de segurança do trabalho [5]. Essas ações são baseadas em um tripé que consiste em padronização de processos, treinamento constante e supervisão rigorosa das atividades de risco [6]. No entanto, todas essas ações são fortemente dependentes da iniciativa humana, com o agravante de serem realizadas por milhares de pessoas em suas atividades diárias [7].

A Organização Internacional do Trabalho estima que, anualmente, 313 milhões de trabalhadores estão envolvidos em acidentes de trabalho causando lesões graves e afastamentos do trabalho, totalizando mais de 350 mil mortes, enquanto 162 milhões de pessoas ocorrem com doenças relacionadas ao trabalho, levando a quase 2 milhões de vítimas [8]. Portanto, investir em segurança e saúde ocupacional reduz custos econômicos e humanos diretos e indiretos.

No cenário brasileiro, um acidente ocorre a cada 49 segundos em média e o setor de energia é o quarto maior em número de ocorrências [9]. Assim, ações que contribuam para a preservação da vida também ajudarão a reduzir custos operacionais, indenizações com ou sem afastamento e melhorar a percepção do público sobre clientes, parceiros e investidores.

Atualmente, devido a uma estreita relação entre incidentes como quase acidentes e acidentes reais, os sistemas de gestão de quase acidentes são frequentemente apresentados como a abordagem para garantir a

segurança do trabalho [10]. No entanto, devido aos recentes avanços em *IoT* (ou seja, Internet Industrial das Coisas), mineração de dados, big data, análise de dados, *machine & deep learning*, entre outros, há uma tendência emergente de busca por soluções que apliquem tecnologias de detecção vestíveis para preservar vida em locais de trabalho perigosos e para monitoramento do estado de saúde e medicina [11]–[14]. Um dos principais motivos é a capacidade de monitorar continuamente os parâmetros associados a um indivíduo, o que, portanto, resulta em oportunidades para aprimorar a cultura de segurança, padronizar procedimentos e controlar sua execução.

Tendo em vista estes pontos, o sensoriamento vestível, que é uma nova fronteira tecnológica dentro do vasto mundo das tecnologias de *IoT* (*Internet of Things*), pode contribuir com esse cenário. Atualmente, seu emprego tem sido intenso no sensoriamento de saúde e tem sido chamado de *IoP* (*Internet of People*), por tratar de pessoas e não de objetos [22].

As tecnologias de *IoP* associadas às novas ferramentas de análise para grandes bases de dados (Big Data) são as linhas de originalidade que nortearam o presente trabalho. Elas estão para o trabalho como fatores de inovação que permitem a integração dos dois principais elementos na gestão dos processos de segurança e medicina do trabalho: as pessoas e os procedimentos. A plataforma desenvolvida, denominada *SWorker*, permite que quaisquer equipamentos, seja ele um sensor ou outro dispositivo, seja atrelado ao sistema para que permita coleta inteligente de dados e análise assertiva das informações obtidas durante as atividades operacionais.

As ferramentas de *IoP* por meio da aplicação de tecnologias vestíveis automatizam essas análises e permitem ações preditivas juntos aos profissionais, sem necessitar de constantes intervenções humanas na gestão de pessoas, criando um paradigma de gerenciamento sustentável.

2. Desenvolvimento

A solução *SWorker* se destaca pela sua capacidade de integrar tecnologias emergentes de inteligência artificial e sensores em tempo real à gestão de segurança operacional. Diferencia-se por oferecer uma solução completa e digital para monitoramento e rastreabilidade de informações, algo não encontrado em soluções tradicionais, além de proporcionar a otimização dos procedimentos de segurança com base em dados gerados no campo em tempo real.

A concepção da plataforma *SWorker* pode ser descrita pelo detalhamento do desenvolvimento dos seus componentes de *software* através de uma plataforma agnóstica de *hardware*. Ao incorporar câmeras corporais e análise automatizada por Inteligência Artificial, o *SWorker* eleva a previsibilidade e eficiência nas operações de campo, promovendo uma gestão de segurança mais proativa.

Para que possamos conhecer as três principais frentes da solução atual, iremos detalhar separadamente a seguir:

2.1 Plataforma *SWorker*:

Esta plataforma, desenvolvida no projeto, permite digitalizar quaisquer procedimentos do trabalho, sendo personalizável e configurável e contemplando portal para monitoramento direto pela supervisão. Além disso, contempla análise inteligente das fotos dos formulários de forma parametrizável para identificação de desvios. As etapas previstas na metodologia de desenvolvimento são apresentadas a seguir.

2.1.1 Análise Preliminar de Risco Digital

Este processo disponibilizado no app mobile *SWorker* nos aparelhos celulares dos eletricitistas, é uma evolução da Análise Preliminar de Risco que anteriormente era realizada em papel. Após longa pesquisa e análise de requisitos, foi concebida a APR Digital, contemplando as seguintes características:

- **Questões randômicas:** As questões randômicas exigem que o trabalhador sempre esteja atento às respostas uma vez que ele não poderá responder de forma “automática” com base em um questionário anterior;
- **Questionário adaptativo:** formulário se adapta ao serviço a ser realizado. Orientado a grupos de risco, permite que seja feito um menor número de perguntas, porém, diretamente direcionadas aos riscos inerentes à atividade, proporcionando uma análise de riscos mais efetiva, detalhada e eficaz;
- **Assinatura Digital por biometria facial:** Garante a autenticidade do trabalhador que preencheu o questionário que, somado ao registro da geolocalização, agrega valor na solução.
- Integração com o **portal WEB** para transferência dos dados.
- **Inteligência Artificial embarcada:** aplicação de inteligência artificial para identificação automática de desvios nas fotos da APR Digital. No caso de identificação de possíveis inconsistências, é gerado um alerta para atuação por parte da supervisão direta.

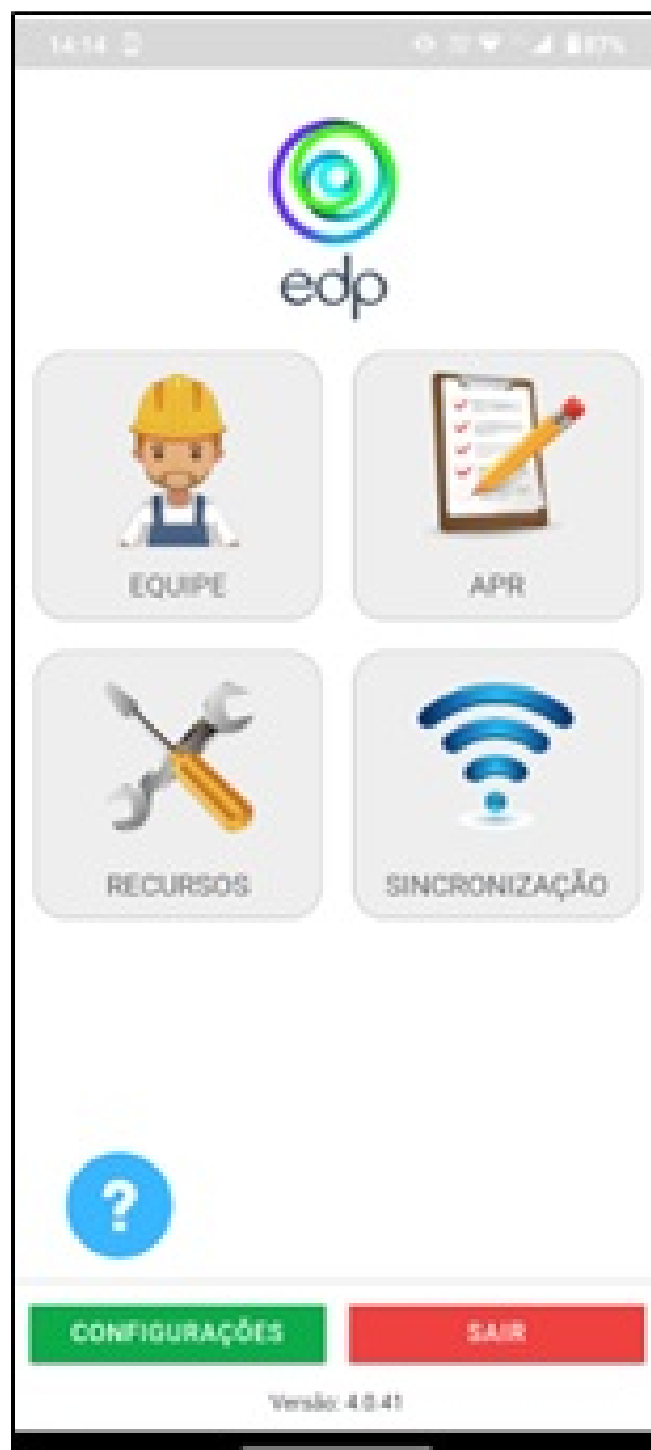


Figura 1 – Tela Inicial App SWorker

2.1.2 SEField

Este equipamento inovador, com patente depositada junto ao INPI, foi desenvolvido com o principal objetivo de prover maior segurança aos colaboradores nas atividades operacionais, fazendo a aferição e coleta dos seguintes dados:

- Detecção da intensidade de potencial elétrico com aviso sonoro gradual.
- Medição da umidade do ar.
- Detecção de trabalho em altura.
- Detecção do nível de ruído ambiente.
- Identificador de quedas e temperatura ambiente.

Além disso, devido à estrutura agnóstica da solução, os dados são diretamente enviados ao sistema SWorker, de forma que permite que sejam analisados os dados aquisitados durante toda a atividade operacional. Os dispositivos sensores vestíveis, por meio de sensores primários, são capazes de detectar parâmetros físicos (por exemplo, aceleração, força do campo elétrico, localização, etc.) e ambientais (por exemplo, intensidade de UV e temperatura). Portanto, sensores primários são aqueles que medem uma quantidade específica para permitir a identificação de anormalidades ao estado de saúde, segurança do ambiente/local de trabalho e execução de procedimentos. Neste trabalho, qualquer situação/evento/condição que possa levar a um incidente é doravante chamada de contexto. Os contextos são criados por meio da coleta de dados e do processamento de quantidades medidas por sensores primários para gerar estado de aptidão individual em tempo real (ou seja, segurança pessoal, alerta ou condição perigosa) para todas as atividades que envolvem perigos e riscos.

A tradução de dados brutos para contextos exige a coleta de dados de um único ou da combinação de dois ou mais sensores primários. Um contexto para detecção de queda pode ser identificado se um padrão de rotação angular e uma aceleração acentuada forem atendidos. Portanto, um giroscópio e um acelerômetro são necessários [17]. Em resumo, essa combinação de sensores para fornecer informações e conscientização define o conceito de fusão de sensores para determinação consciente do contexto [16], [18], [19]. Para exemplificar, uma atividade em Linha Viva da Rede de Distribuição, onde há restrições de umidade relativa do ar, pode-se utilizar de tal aplicação uma vez que o risco aumenta à medida em que é identificado o trabalho em altura, o aumento da intensidade de campo elétrico e uma condição de umidade relativa do ar acima ou com tendência de elevação, a um nível limite do estabelecidos nos procedimentos de segurança. Neste contexto, pela combinação dos dados destes sensores, poderá ser indicado um nível de risco iminente à segurança do eletricitista inserido naquela situação.



Figura 2 – Sensor SEField

Tendo em vista a produção em escala dos dispositivos, foi projetado e desenvolvido o ferramental para injeção da carcaça plástica do SEFIELD conforme apresentado na figura 3 a seguir.

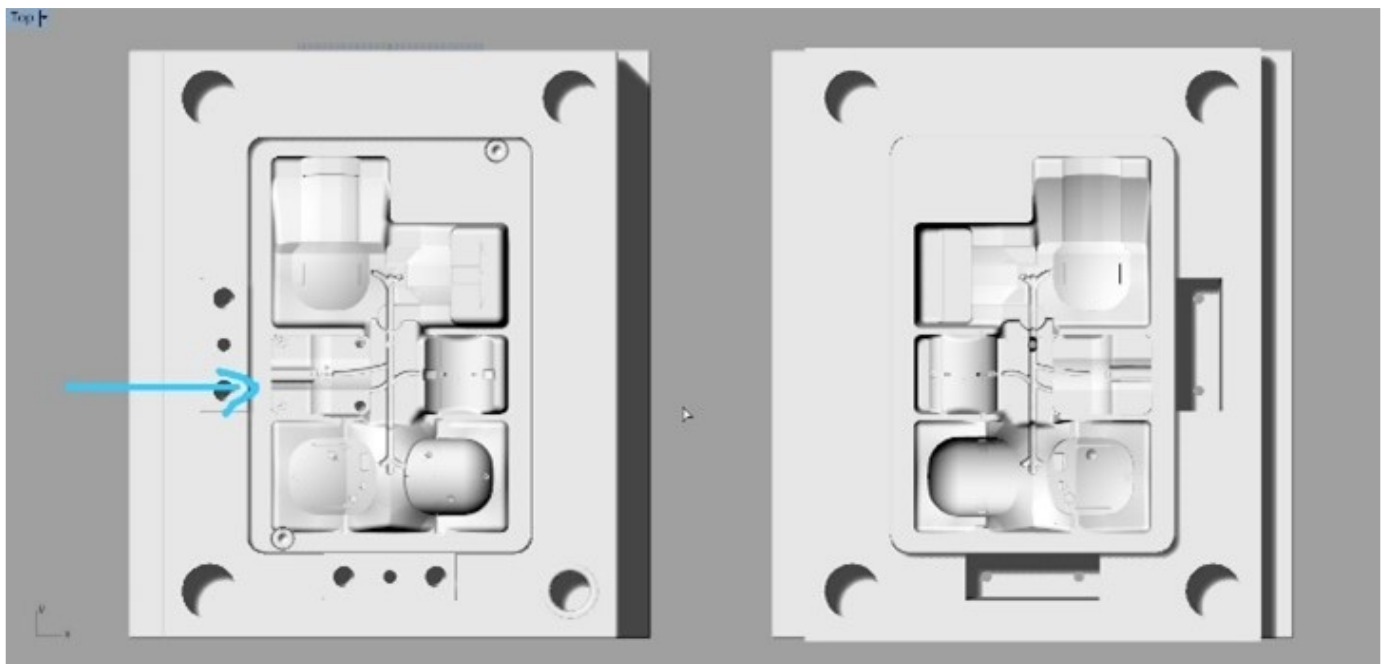


Figura 3 – Imagens do ferramental de injeção do SEFIELD

Por fim é possível observar a versão final do SEFIELD, já em sua forma miniaturizada e sua instalação compatível com qualquer capacete de segurança em seu kit para comercialização em mercado, conforme apresentado na figura 4 a seguir.



Figura 4 – Kit Completo SEField

2.1.3 Monitoramento por Câmeras Corporais

Câmeras corporais são dispositivos vestíveis que permitem o registro de áudio, vídeo e, em muitos casos, dados de localização em tempo real. Geralmente posicionadas no uniforme ou em capacetes, essas câmeras têm como objetivo registrar eventos do ponto de vista do usuário, proporcionando um relato visual

contínuo das atividades realizadas. Além disso, modelos mais avançados, como os utilizados no projeto SWorker, integram GPS para ampliar a rastreabilidade e a precisão dos registros.

O monitoramento por câmeras corporais foi integrado à solução SWorker para aumentar a precisão e a eficiência das auditorias de segurança. As câmeras corporais são dispositivos vestíveis que capturam imagens e vídeos em tempo real das atividades operacionais, permitindo:

- **Captura em tempo real:** As câmeras registram todo o trabalho realizado pelos eletricitistas, gerando um histórico visual.
- **Análise por IA:** As imagens capturadas são automaticamente processadas por um módulo de inteligência artificial, que identifica possíveis desvios de segurança, como ausência de cones de sinalização ou uso incorreto de EPIs.
- **Descarregamento automatizado:** As imagens são transferidas para servidores centralizados por meio de estações de recarga (docking stations), eliminando etapas manuais e otimizando o fluxo de dados.

Antes:

- Auditorias dependiam de inspeções presenciais, muitas vezes baseadas em observações humanas e relatos subjetivos.
- Faltava um registro visual e contínuo das atividades em campo, limitando a possibilidade de revisão e análise detalhada.
- Incidentes eram identificados somente após terem ocorrido, resultando em ações corretivas tardias.

Depois:

- Auditorias passaram a ser realizadas com base em registros visuais automáticos, possibilitando revisões rápidas e precisas.
- A inteligência artificial identifica desvios em tempo real, permitindo ações corretivas imediatas.
- Dados visuais geolocalizados e rastreáveis criaram uma base robusta para análises futuras, possibilitando o desenvolvimento de treinamentos mais eficazes.

Impacto:

- Maior eficiência e precisão nas auditorias.
- Melhoria na aderência às normas de segurança.
- Redução de incidentes devido à identificação proativa de riscos.



Figura 5 – Solução de Monitoramento de Atividades Operacionais

2.2 Resultados Obtidos

A solução SWorker foi implementada em 100% da força de trabalho própria das Distribuidoras EDP SP e EDP ES, contemplando mais de 1.500 eletricitas com a funcionalidade da APR Digital. São realizadas mensalmente, em média, 40.000 Análises Preliminares de Risco, as quais são armazenadas em servidores em ambiente seguro.

- O sensor *SEField* teve sua patente (BR 10 2024 004778 8) depositada e se encontra em fase de inserção no mercado. Foi desenvolvida, conforme descrito no item anterior, ferramental de injeção para produção em larga escala e, neste momento, temos 400 peças prontas para utilização em campo.

- **Impacto na Segurança Operacional:** A solução SWorker introduziu um novo nível de eficiência e previsibilidade na gestão de segurança, reduzindo significativamente incidentes e aumentando a conformidade com normas.
- **Digitalização Completa e Rastreabilidade:** O processo de digitalização revolucionou a Análise Preliminar de Risco (APR), tornando-a dinâmica, adaptativa e 100% rastreável.
- **Inovação Tecnológica:** O desenvolvimento do sensor vestível SEField e a integração de câmeras corporais posicionaram o projeto como pioneiro em segurança tecnológica.
- **Integração de Dados e Análise em Tempo Real:** Diversos painéis foram desenvolvidos com PowerBi para medição e controle do uso da solução.
- **Transformação Cultural:** O projeto gerou uma mudança significativa na percepção da segurança pelos eletricitistas, criando uma cultura organizacional focada na prevenção e na tecnologia.

3. Conclusão

O projeto SWorker trouxe uma transformação profunda na gestão de segurança do trabalho, unindo tecnologias avançadas, como dispositivos vestíveis e inteligência artificial, a práticas operacionais mais eficientes e seguras. A implementação da APR Digital, o uso de sensores SEField e câmeras corporais proporcionaram:

- **Redução de riscos:** A identificação preditiva e o monitoramento em tempo real reduziram significativamente incidentes e desvios.
- **Eficiência operacional:** A digitalização de processos economizou tempo e custos, além de melhorar a rastreabilidade.
- **Transformação cultural:** A segurança foi incorporada como um pilar central, aumentando a confiança dos trabalhadores e a eficiência organizacional.

Com resultados consolidados, o SWorker posiciona-se como uma referência de inovação no setor, impactando positivamente a segurança dos trabalhadores e a sustentabilidade das operações. O sucesso do projeto demonstra que é possível integrar tecnologia de ponta com a preservação da vida, estabelecendo um modelo replicável para outras indústrias de alto risco.

4. Referências bibliográficas

- [1] L. B. Gordon, L. Cartelli, and N. Graham, "A complete electrical shock hazard classification system and its application", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 54, pp. 6554–6565, Nov 2018.
- [2] P. E. Batra and M. G. Ioannides, "Electric accidents in the production, transmission, and distribution of electric energy: A review of the literature", International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 7, no. 3, pp. 285–307, 2001.
- [3] N. Ichikawa, "Three hundred forty-nine case studies and their consideration of electrical accidents in Japan", in 2016 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW), pp. 1–8, March 2016.
- [4] N. Ichikawa, "Electrical fatality rates in Japan, 2002-2011: New preventive measures for fatal electrical accidents", IEEE Industry Applications Magazine, vol. 22, pp. 21–26, May 2016.
- [5] M. Mitolo, "Is it possible to calculate safety?", IEEE Industry Applications Magazine, vol. 15, pp. 31–35, May 2009.

- [6] M. Stackhouse and N. Turner, "How do organizational practices relate to perceived system safety effectiveness? perceptions of safety climate and co-worker commitment to safety as workplace safety signals", *Journal of Safety Research*, vol. 70, pp. 59 – 69, 2019.
- [7] A. H. L. Floyd, "Multitasking and the illusion of safety: The potential impact in certain electrical hazard scenarios", *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 18, pp. 18–22, May 2012.
- [8] International Labour Organization (ILO), "Global Trends on Occupational Accidents and Diseases." [Online]. Disponível em: https://www.ilo.org/legacy/english/osh/en/story_content/external_files/fsst1-ILO_5_en.pdf [Acessado em 15 de julho de 2019].
- [9] Ministério do Trabalho, "Observatório Digital de Saúde e Segurança no Trabalho (MPT-OIT)", [Online]. Disponível em: <https://observatoriosst.mpt.mp.br/> [Acessado em 29 de janeiro de 2019].
- [10] M. G. Gnoni and G. Lettera, "Near-miss management systems: A methodological comparison", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 25, no. 3, pp. 609 – 616, 2012.
- [11] I. C. Jeong, D. Bychkov, and P. C. Searson, "Wearable devices for precision medicine and health state monitoring", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 66, pp. 1242–1258, May 2019.
- [12] S. C. Mukhopadhyay, "Wearable sensors for human activity monitoring: A review", *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, pp. 1321–1330, March 2015.
- [13] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, and M. Rodgers, "A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation", *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*, vol. 9, p. 21, Apr 2012.
- [14] U. Varshney, "Mobile health: Four emerging themes of research", *Decision Support Systems*, vol. 66, pp. 20 – 35, 2014.
- [15] J. Parkka, M. Ermes, P. Korpipaa, J. Mantyjarvi, J. Peltola, and I. Korhonen, "Activity classification using realistic data from wearable sensors", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 10, pp. 119–128, Jan 2006.
- [16] C. Perera, C. H. Liu, S. Jayawardena, and M. Chen, "A survey on internet of things from industrial market perspective", *IEEE Access*, vol. 2, pp. 1660–1679, 2014.
- [17] F. Hussain, F. Hussain, M. Ehatisham-ul-Haq, and M. A. Azam, "Activity aware fall detection and recognition based on wearable sensors", *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, pp. 4528–4536, June 2019.
- [18] C. Chen, R. Jafari, and N. Kehtarnavaz, "A real-time human action recognition system using depth and inertial sensor fusion", *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, pp. 773–781, Feb 2016.
- [19] F. Sanfilippo and K. Y. Pettersen, "A sensor fusion wearable health monitoring system with haptic feedback", in 2015 11th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), pp. 262–266, Nov 2015.
- [20] A. Murad and J.-Y. Pyun, "Deep recurrent neural networks for human activity recognition", *PubMed*, vol. 17, no. 11, p. 2556, 2017.
- [21] M. Thibaud, H. Chi, W. Zhou, and S. Piramuthu, "Internet of things (IoT) in high-risk environment, health and safety (ehs) industries: A comprehensive review", *Decision Support Systems*, vol. 108, pp. 79 –95, 2018.
- [22] C. F. M. Almeida, "Aplicação de Sensoriamentos Vestíveis para Engenharia de Segurança e Saúde do Trabalho – Uma Proposta Rumo ao Além do Zero Acidente", Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, 2022.