

# CADEIRA ERGONÔMICA INTELIGENTE COM AUTOMAÇÃO E SENSORES DE PRESSÃO PARA MONITORAMENTO POSTURAL

## SMART ERGONOMIC CHAIR WITH AUTOMATION AND PRESSURE SENSORS FOR POSTURAL MONITORING

João Victor de Angeli Pudo<sup>1, i</sup>

Ricardo Hovacker Baldaconi<sup>2, ii</sup>

### RESUMO

A ergonomia desempenha papel fundamental na promoção da saúde e do bem-estar em ambientes de trabalho e estudo, sobretudo quando associada ao uso prolongado de cadeiras. Este trabalho propõe a análise e aplicação de parâmetros ergonômicos no desenvolvimento de um sistema automatizado para uma cadeira capaz de identificar e corrigir posturas inadequadas em tempo real. A pesquisa envolve a coleta e interpretação de dados antropométricos, a definição de padrões posturais ideais e a integração de sensores para adaptação automática da cadeira às necessidades individuais. Com abordagem interdisciplinar que integra ergonomia, engenharia de controle e design de produto, o projeto busca mitigar riscos de doenças musculoesqueléticas e fadiga postural. Espera-se promover maior conforto, prevenir lesões ocupacionais e incentivar a postura correta, especialmente em contextos de trabalho remoto e educacionais. A proposta evidencia o potencial da automação ergonômica como ferramenta proativa em saúde ocupacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Automação, Ergonomia, Postura, Cadeira inteligente, Sensores.

### ABSTRACT

Ergonomics plays a fundamental role in promoting health and well-being in work and study environments, especially when associated with prolonged sitting. This work proposes the analysis and application of ergonomic parameters in the development of an automated chair system capable of identifying and correcting inadequate postures in real time. The research involves collecting and interpreting anthropometric data, defining ideal postural patterns, and integrating sensors and actuators for automatic chair adjustment to individual needs. Using an interdisciplinary approach that combines ergonomics, control engineering and product design, the project aims to mitigate risks related to musculoskeletal disorders and postural fatigue. Expected outcomes include improved comfort, prevention of occupational injuries and encouragement of correct posture, particularly in remote work or educational contexts. The proposal highlights the potential of ergonomic automation as a proactive intervention tool in occupational health.

**KEYWORDS:** Automation, Ergonomics, Posture, Smart chair, Sensors.

---

<sup>1</sup>Graduando em Manutenção Industrial. E-mail: [jvpudo18@gmail.com](mailto:jvpudo18@gmail.com)

<sup>2</sup>Mestre em Tecnologia Nuclear. E-mail: [ricardo.baldaconi@sp.senai.br](mailto:ricardo.baldaconi@sp.senai.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a ergonomia e seus impactos na saúde ocupacional tem crescido nas últimas décadas, especialmente devido ao uso intensivo de computadores e à permanência prolongada em posturas estáticas (Sznelwar, 2024). Posturas inadequadas e mobiliário não ajustado, como cadeiras e mesas, estão associados ao aumento de distúrbios musculoesqueléticos, dores crônicas e queda de produtividade (Oikawa et al., 2024).

A urgência por soluções preventivas e adaptativas tornou-se ainda mais evidente com a popularização do trabalho remoto e do ensino a distância, contextos em que muitos usuários não dispõem de mobiliário adequado (Martínez-Estrada et al., 2023). A ergonomia, enquanto ciência aplicada, busca adequar o ambiente às necessidades do trabalhador, prevenindo agravos e promovendo saúde física e mental, além de ganhos em produtividade e qualidade de vida (Progênio et al., 2025).

Este estudo propõe o desenvolvimento de uma cadeira ergonômica inteligente com automação e sensores flexíveis para monitoramento postural, voltada a profissionais que permanecem longos períodos sentados. Os objetivos principais são: (i) implementar um sistema de monitoramento em tempo real com microcontrolador e sensores flexíveis; (ii) reduzir riscos ergonômicos relacionados a doenças musculoesqueléticas e fadiga postural; (iii) oferecer solução escalável e acessível que auxilie na manutenção da postura adequada. O protótipo utiliza três sensores RP-L-110 e um microcontrolador ESP32, configurados para processar sinais e emitir alertas em tempo real.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A busca pela eficiência no trabalho é uma constante ao longo da história, manifestando-se na implementação de ferramentas em diversos contextos, sociais e profissionais. Desde tempos antigos, mesmo antes da formalização da ergonomia como ciência, o ser humano desenvolvia ferramentas rudimentares para otimizar atividades como a caça, tornando-as mais eficazes e confortáveis. Essas adaptações, datadas do período pré-histórico, evidenciam um princípio central da abordagem ergonômica: adaptar o trabalho às características humanas (Ribeiro et al., 2024).

Por ser multidisciplinar, a ergonomia estuda a interação entre seres humanos e sistemas, produtos e ambientes nos quais trabalham, vivem e interagem. Seu objetivo é projetar e adaptar esses elementos às capacidades, necessidades e limitações humanas, promovendo eficiência, conforto, segurança e bem-estar (Oikawa et al., 2024).

Para além dessa concepção, a ergonomia considera fatores de anatomia, fisiologia, psicologia, antropometria e biomecânica na proposição de soluções que otimizem a relação pessoa–ambiente de trabalho e cotidiano (Oliveira, 2021). Aplica-se em diversos campos, como design de produtos, mobiliário, layout de postos de trabalho, interfaces computacionais, veículos e equipamentos industriais.

A relevância da ergonomia reside na capacidade de reduzir riscos de lesões, doenças ocupacionais e fadiga, ao mesmo tempo em que melhora eficiência, produtividade e satisfação. Setores como saúde, segurança do trabalho, design industrial e transporte se beneficiam diretamente, com impacto na qualidade de vida em atividades diárias (Oikawa et al., 2024).

Com base na NR-17, item 17.1.1, “as condições de trabalho incluem aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos, às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho”. No ambiente laboral, a ergonomia pode ser aplicada por meio da AET (Análise Ergonômica do Trabalho), conjunto de técnicas para avaliar problemas na relação entre pessoa, função e ambiente, orientando mudanças e adaptações para mitigar danos ao trabalhador e elevar o desempenho organizacional (Gonçalves et al., 2023).

A dor física e emocional varia em intensidade e qualidade entre indivíduos. Entre as mais comuns está a dor lombar (lombalgia), que afeta a região lombar. Sua etiologia é multifatorial, mas frequentemente relacionada às atividades laborais, especialmente quando há postura inadequada, fadiga e exaustão físico-mental por uso excessivo dos músculos, atividades intensas ou má postura repetida (Moura et al., 2024).

Cadeiras ergonômicas de escritório são projetadas para favorecer a postura, com altura, apoios de braços, encosto reclinável e suporte lombar ajustáveis. Contudo, muitos usuários não utilizam todos os ajustes e, por isso, não alcançam a configuração ergonômica ideal, seja por desconhecimento, seja por hábitos posturais arraigados (Estrada et al., 2023).

### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema de monitoramento de postura, iniciou-se com a escolha dos componentes adequados às necessidades ergonômicas e posturais, priorizando eficiência e facilidade de integração. O microcontrolador selecionado foi o ESP32 (Espressif Systems), equipado com processador dual-core de 32 bits (até 240 MHz), 520 KB de RAM e conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada. Comparado ao Arduino Uno (8-bit, 2 KB RAM) e ao Microbit (ARMCortex-M0, 128 KB RAM), o ESP32 destacou-se por sua capacidade de processamento, flexibilidade de entradas/saídas (34 pinos GPIO) e suporte a sensores avançados, tornando-o ideal para monitoramento em tempo real (Malik et al, 2024).

Para identificar a postura do usuário, optou-se pelo sensor flex (RP-L-110), devido a sua flexibilidade, alta sensibilidade à deformação mecânica, capacidade de detectar variações de ângulo com precisão e características que possibilitam o monitoramento em tempo real das articulações, que o torna ideal para aplicações biomédicas e dispositivos vestíveis (Wang et al, 2024). O sensor utilizado pode ser visto na Figura 1.

**Figura 1 - Sensor Flexível, RP-L-110**



Fonte: Próprios autores

Os sensores foram posicionados estrategicamente em uma cadeira Eames Eiffel, visando adequar a coleta de dados ao contexto ergonômico, esse arranjo pode ser visualizado na figura 2.

**Figura 2 - Posicionamento inicial dos sensores**



Fonte: Próprios autores

A programação utilizou o Arduino IDE como plataforma integrada para desenvolvimento, compilação e upload em microcontrolador ESP32, além de monitoramento serial e gerenciamento de bibliotecas.

#### **4 RESULTADOS PARCIAIS**

O sistema de monitoramento postural foi avaliado em testes simulados e práticos com o RP-L-110 para análise de pressão. Os dados foram processados em tempo real pelo ESP32, com amostragem a cada 500 ms, e analisados por mensagens e gráficos no *Serial Plotter* do Arduino IDE.

Nos testes iniciais com a cadeira Eames Eiffel, observou-se um comportamento consistente: na ausência de contato ou flexão, o monitor serial apresentava 4095, que corresponde ao valor máximo de 12 bits do ADC do ESP32. Enquanto que quando o sensor era submetido a uma pressão igual ou superior a 10kg o valor exibido era 0. Qualquer movimentação ou esforço sobre os sensores da cadeira apresentavam valores nesse intervalo (0-4095).

Foram realizados 100 testes com um usuário sentado na cadeira, posicionando-se de forma ereta ou inclinada, de forma aleatória. Em cada uma das posições os sensores eram submetidos a diferentes esforços e retornavam valores correspondentes que foram registrados em uma tabela do excel. A figura 3 exhibe o momento de registros

onde o usuário mantinha-se na posição inclinada.

**Figura 3 - Usuário em posição inclinada durante o registro dos dados**



Fonte: Próprios autores

A Tabela 1 nos mostra as leituras dos sensores S1, S2 e S3 em diferentes intervalos de tempo, juntamente com os valores normalizados (S1\_norm, S2\_norm e S3\_norm), o índice calculado (R) e a postura correspondente identificada pelo sistema.

**Tabela 1. Dataset de sinais normalizados para classificação de postura**

Tempo (Segundos)	S1	S2	S3	Postura	S1_norm	S2_norm	S3_norm	R	Predição
0.5	161	995	48	inclinada	1	0,898825655	0	0	inclinada
1.0	128	1057	80	inclinada	0,795031056	0,954832882	0,007907092	0,004519	inclinada
1.5	150	1049	110	inclinada	0,931677019	0,947606143	0,01531999	0,008152	inclinada
2.0	125	1000	112	inclinada	0,776397516	0,903342367	0,015814183	0,01	ereta
2.5	128	988	103	inclinada	0,795031056	0,892502258	0,013590314	0,008053	inclinada
3.0	131	1107	126	inclinada	0,813664596	1	0,019273536	0,010627	ereta
3.5	129	976	176	inclinada	0,801242236	0,88166215	0,031628367	0,018794	ereta
4.0	116	857	214	inclinada	0,720496894	0,774164408	0,041018038	0,027443	ereta
4.5	125	942	264	inclinada	0,776397516	0,850948509	0,053372869	0,032797	ereta
5.0	151	560	75	inclinada	0,937888199	0,505871725	0,006671609	0,004621	inclinada
5.5	27	0	1870	ereta	0,167701863	0	0,450210032	2,68457	ereta
6.0	2	0	1090	ereta	0,01242236	0	0,257474673	20,72504	ereta
6.5	23	0	1457	ereta	0,142857143	0	0,34815913	2,437097	ereta
7	17	0	1521	ereta	0,105590062	0	0,363973314	3,447009	ereta
7.5	6	0	1520	ereta	0,037267081	0	0,363726217	9,759725	ereta
8	0	0	1589	ereta	0	0	0,380775883	380775,9	ereta
8.5	18	0	2080	ereta	0,111801242	0	0,502100321	4,490968	ereta
9	0	0	4095	ereta	0	0	1	1000000	ereta
9.5	26	0	1630	ereta	0,161490683	0	0,390906845	2,4206	ereta
10	21	0	1410	ereta	0,130434783	0	0,336545589	2,580163	ereta

Fonte: Próprios autores

Três sensores flexíveis (assento: S1, S2; encosto: S3) foram registrados em duas

condições controladas (ereta e inclinada). As leituras foram normalizadas para 0–1 e calculou-se o índice dorsal

$$R = \frac{S3_{norm}}{S1_{norm} + S2_{norm}}$$

Por meio de

$$\frac{M2: M11}{10}$$

observou-se separação consistente entre as posturas (medianas: ereta = [0,008783346], inclinada = [0,008783346]).

Nota-se que, nas primeiras medições, S1 e S2 apresentaram valores elevados, enquanto S3 manteve valores relativamente baixos, associados à postura inclinada. Com o avanço do tempo, observa-se a redução progressiva dos valores de S1 e S2 e o aumento expressivo de S3, que passa a predominar nos registros classificados como postura ereta. A variação de (R) acompanha essas mudanças, refletindo a transição entre os diferentes padrões posturais registrados na tabela.

A Tabela 2 nos mostra as métricas obtidas a partir da aplicação do modelo de classificação, incluindo o valor definido como limiar de (R), a acurácia do sistema, bem como os resultados referentes à sensibilidade para a postura ereta e à especificidade para a postura inclinada. Esses indicadores permitem avaliar o desempenho do método proposto no reconhecimento das diferentes posturas, apresentando os parâmetros de forma resumida e facilitando a interpretação da eficiência do processo de classificação.

**Tabela 2. Desempenho preliminar do índice R**

Metrica	Valor
Limiar R	0,008783
Acurácia (%)	75%
Sensibilidade (ereta) %	100%
Especificidade (incl.) %	50%

Fonte: Próprios autores

Um limiar único definido como o ponto médio entre as medianas permitiu classificar as amostras com acurácia = [75]%, sensibilidade (ereta) = [100]% e especificidade

(inclinada) = [50]%. Esses achados, ainda incipientes, indicam potencial do índice para distinguir posturas e motivam a expansão amostral e análises confirmatórias nas próximas etapas. Percebe-se que enquanto a sensibilidade (ereta) apresenta um retorno de 100 % nas predições a especificidade (inclinada) apresenta apenas 50 %, o que sugere que o modelo apresenta maior facilidade em identificar a postura ereta, mas encontra limitações na discriminação da postura inclinada, sendo necessário ajustar o limiar ou ampliar a base de dados para melhorar a robustez da classificação.

## **5 CONCLUSÕES PRELIMINARES**

O sistema de monitoramento postural desenvolvido representa uma solução prática e eficaz. Combinando ESP32 e sensores flexíveis RP-L-110, o projeto viabiliza monitoramento em tempo real e identificação de alterações de postura. A principal contribuição está na democratização de tecnologias ergonômicas, tradicionalmente restritas por alto custo de equipamentos e softwares. A integração de componentes acessíveis e lógica de processamento otimizada resultou em ferramenta promissora para gestão proativa de riscos, com potencial de reduzir lesões ocupacionais, afastamentos e custos associados. A flexibilidade do sistema favorece adaptações a diferentes contextos laborais, reforçando sua aplicabilidade prática e relevância técnica.

Embora eficaz em condições controladas, há espaço para refinamentos que ampliem o desempenho. A incorporação de software dedicado para feedback em tempo real, a adaptação a diferentes perfis antropométricos e a inclusão de sensores adicionais em pontos estratégicos podem elevar a personalização e a precisão. Persistem, no entanto, desafios técnicos: sensores flexíveis suscetíveis a desgaste e histerese; necessidade de calibração periódica; e qualidade mecânica da cadeira base, que, na etapa inicial, não ofereceu conforto ideal para suportar o sistema, afetando parcialmente a experiência do usuário. Esses aprimoramentos não invalidam os resultados alcançados, mas sim, sustentam o potencial do projeto como base sólida para evoluções futuras e aplicação em cenários mais exigentes.

Em síntese, os resultados confirmam o potencial da automação embarcada como aliada na mitigação de distúrbios musculoesqueléticos relacionados à má postura. A combinação entre facilidade de uso e monitoramento contínuo posiciona o sistema como contribuição relevante para a ergonomia e para o avanço da automação aplicada

à saúde ocupacional.

### 5.1 Limitações do estudo

- Amostra limitada: testes com um único usuário, sem estratificação por sexo, idade, massa, estatura ou perfil de atividade.
- Generalização restrita: validação em apenas um modelo de cadeira (Eames Eiffel), com material e geometria específicos.
- Instrumentação: sensores flexíveis sujeitos a não linearidade, histerese, deriva térmica e envelhecimento; ausência de calibração individualizada por usuário.
- Aquisição e ruído: taxa de amostragem de 500 ms pode ser insuficiente para eventos rápidos; ausência de filtros e de análise de ruído elétrico e interferências.
- Métrica de desempenho: uso de “assertividade (%)” sem definição operacional detalhada (critérios, rotulagem, ground truth); ausência de intervalos de confiança e testes de hipótese.
- Condições ambientais: temperatura, umidade, tipo de vestimenta e rigidez do assento não controlados de forma sistemática.
- Privacidade/Ética: não discussão formal sobre privacidade de dados, consentimento informado e diretrizes éticas em monitoramento de usuários.

### 5.2 Próximos passos

- Amostragem ampliada: estudo com N elevado e perfis antropométricos variados; definição de tamanho de efeito e poder estatístico.
- Validação cruzada: testar em múltiplas cadeiras (corporativas, acadêmicas, gamer) e diferentes densidades de espuma.
- Arquitetura de sensores: integrar células de carga e/ou IMUs (acelerômetro/giroscópio) para aumentar robustez e reduzir ambiguidades.
- Calibração e compensação: desenvolver protocolo de calibração por usuário, compensação térmica e algoritmos de filtragem (média móvel, Butterworth,

Kalman).

- Algoritmos de classificação: implementar lógica baseada em limiares adaptativos e/ou aprendizado de máquina (ex.: SVM, árvores, redes leves) com validação k-fold.
- Software de feedback: interface em C# ou Python com gráficos em tempo real, histórico de sessões e alertas contextuais; estudo longitudinal de adesão e impacto (dor, fadiga, pausas).
- Ensaio de durabilidade: testes de ciclagem mecânica e estabilidade elétrica (horas de uso, variação de carga); análise de custo-benefício para adoção em escala.
- Conformidade e segurança: avaliação de segurança elétrica, compatibilidade eletromagnética e requisitos normativos aplicáveis; diretrizes de proteção de dados (LGPD).

## REFERÊNCIAS

ANTÔNIO DE MOURA, R. et al. Neuroscience and ergonomics applied as professional behavioral sciences for healthy longevity. *Environmental & Social Management Journal / Revista de Gestão Social e Ambiental*, [S. l.], v. 18, n. 12, p. 1–12, 2024. DOI 10.24857/rgsa.v18n12-077.

COSTA, L. P. A ergonomia em unidades de informação: um estudo sobre a adequação física das bibliotecas universitárias. 2018. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biblioteconomia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <http://bdm.ufpa.br/jspui/handle/prefix/1293>. Acesso em: 14 mai. 2025.

FERIOTTO GONÇALVES, B. A.; ABUD JUNIOR, G.; GONÇALVES, R. L. Ergonomia: aplicação no ambiente escolar e nos estudos. *Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal)*, [S. l.], v. 16, n. 7, p. 1–18, 2023. DOI 10.54751/revistafoco.v16n7-143.

MALIK, G. R. et al. Exploring efficiency: comparative study of microcontroller energy consumption and performance optimization strategies. In: *7th International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, 2024. Anais... IEEE, 2024.

MARTÍNEZ-ESTRADA, M. et al. A smart chair to monitor sitting posture by capacitive textile sensors. *Materials*, [S. l.], v. 16, n. 13, p. 4838, 2023. DOI 10.3390/ma16134838.

OLIVEIRA, A. F. Ergonomia é o conjunto de regras e procedimentos que visam os cuidados com a saúde do profissional. Beecorp, 2021. Disponível em: <https://beecorp.com.br/ergonomia/>. Acesso em: 18 mar 2025.

OIKAWA, A. A. M.; SILVA, L. M. M.; OIKAWA, T. T. M. A ergonomia e o meio ambiente de trabalho: a vulnerabilidade do trabalhador na moda e indústria têxtil e suas implicações na saúde. *Revista de Direito do Trabalho*, [S. l.], v. 12, n. 2, 2024. DOI 10.35987/laborjuris.v12i2.230.

PROGÊNIO, A. R. et al. Ergonomia e saúde ocupacional: impactos na qualidade de vida dos trabalhadores. *Contribuciones a las ciencias sociales*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. e14332, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.1-042.

RIBEIRO, R. de C.; MICHALOSKI, A. O.; XAVIER, A. A. de P. Aspectos metodológicos da abordagem do conteúdo de ergonomia nos cursos de engenharia civil nas instituições de ensino brasileira. *Revista Sítio Novo*, Palmas (TO), v. 8, n. 4, p. 7–14, 2025. DOI: 10.47236/2594-7036.2024.v8.i4.7-14p.

SOARES, C. et al. Ergonomic interventions for work in a sitting position: an integrative review. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, São Paulo (SP), v. 21, n. 1, p. e2023770, 2023. Disponível em: <https://rbmt.org.br/details/382/en-US/ergonomic-interventions-for-work-in-a-sitting-position--an-integrative-review>. Acesso em: 10 mai. 2025.

SZNELWAR, L. I. Ergonomia e desenvolvimento profissional. *Revista Ação Ergonômica*, Rio de Janeiro (RJ), v. 18, n. 2, p. 1–11, 2024.

WANG, S. et al. High sensitivity capacitive flexible pressure sensor based on PDMS double wrinkled microstructure. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 1–10, 2024. DOI 10.1007/s10854-023-11770-3.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Me. Ricardo Hovacker Baldaconi, pela orientação, apoio e dedicação ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência e disponibilidade foram fundamentais para a concretização deste projeto.

Também agradeço à Universidade SENAI Campus Roberto Simonsen pelo suporte técnico e estrutural, e àqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## Sobre os autores:

---

### i JOÃO VICTOR DE ANGELI PUDO



Cursando Tecnologia em Manutenção Industrial, pela Faculdade SENAI Roberto Simonsen, atualmente é estagiário da Escola SESI Suzano. Tem experiência na área de mecânica e eletroeletrônica, com ênfase em Manutenção Industrial.

### ii RICARDO HOVACKER BALDACONI



Mestre em Tecnologia Nuclear pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da USP; Especialista em Automação e Controle pela Faculdade de Tecnologia SENAI “Mariano Ferraz”; Licenciado pela FATEC-SP; Tecnólogo em Mecatrônica Industrial pela Universidade Nove de Julho. Atua a mais de 15 anos como docente, nas áreas de Programação, Microcontroladores, Eletrônica e Robótica; Atualmente é professor do Centro Universitário Senai – SP, campus “Roberto Simonsen”.