

# LocoMove

*Plataforma Computacional de Baixo Custo para Monitoramento de Exercícios HIIT em Lesão Medular*

**Autora:** Laura de Faria Maranhão Ayres

LinkedIn: lauradefaria | GitHub: lauradefaria

## 1. INTRODUÇÃO

A lesão medular (LM) compromete significativamente a capacidade funcional dos indivíduos, resultando em sedentarismo acentuado que desencadeia complicações secundárias graves como atrofia muscular, osteoporose, doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2 e transtornos psicológicos. Estudos demonstram que protocolos de High-Intensity Interval Training (HIIT) são eficazes para melhorar o condicionamento aeróbico desta população, porém o acesso a tecnologias de monitoramento permanece restrito devido aos altos custos dos equipamentos comerciais.

Este projeto apresenta uma solução tecnológica de baixo custo (inferior a R\$ 100,00) para monitoramento em tempo real de exercícios realizados em ergômetros de cadeira de rodas. O sistema integra hardware IoT (sensor óptico TCRT5000 e microcontrolador ESP8266), cloud computing (Supabase) e interface web (HTML/CSS/JavaScript) para capturar, processar e visualizar métricas de desempenho durante sessões de exercício.

O diferencial da plataforma reside na combinação de três pilares: acessibilidade financeira democratizando o acesso à tecnologia; processamento inteligente dos dados excluindo períodos de aquecimento/desaquecimento; e sistema de recomendação baseado em IA utilizando K-Nearest Neighbors (KNN) para personalizar treinos conforme características individuais.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Arquitetura do Sistema

**Camada de Hardware:** Sensor óptico reflexivo TCRT5000 acoplado ao ergômetro detecta cada rotação completa através de pulsos infravermelhos. O microcontrolador NodeMCU WiFi ESP8266, programado em C++, processa os pulsos calculando rotações por segundo e transmite dados via WiFi para o banco de dados em nuvem.

**Camada de Backend:** Banco de dados Supabase gerencia autenticação, armazenamento e processamento. A arquitetura implementa Row Level Security (RLS)

garantindo que usuários acessem apenas seus próprios dados, enquanto administradores visualizam todos os registros. O cálculo das métricas ocorre em tempo real, considerando constantes do equipamento (perímetro da roda).

**Camada de Frontend:** Interface web HTML/CSS/JavaScript com dashboards diferenciados para administradores e usuários com lesão medular. Utiliza requisições em tempo real para atualização contínua durante exercícios e bibliotecas de visualização para gráficos estatísticos.

## 2.2 Regras de Negócio - Gestão de Usuários

*Administrador:* Acesso completo ao sistema incluindo gestão de todos os usuários, visualização de exercícios e estatísticas de qualquer usuário, capacidade de editar/apagar dados, desativar contas e gerar recomendações de treino.

*Usuário:* Possui obrigatoriamente informações clínicas (idade, sexo, causa da LM, nível da LM, categoria da LM, gravidade da LM, classe), tem acesso restrito aos próprios dados, incluindo histórico de exercícios, estatísticas pessoais, edição de dados cadastrais e execução de sessões de exercício.

Gerenciamento de Contas: Administradores podem desativar contas de usuários (soft delete), preservando dados históricos para análises futuras. Usuários podem autodesativar suas próprias contas através da interface de edição de perfil.

## 2.3 Regras de Negócio - Sessões de Exercício

**Início de Sessão:** usuário acessa interface de exercício visualizando cronômetro zerado e métricas iniciais (velocidade: 0, aceleração: 0, distância: 0). Ao clicar em “Iniciar”, sistema executa contagem regressiva de 5 segundos antes de ativar o monitoramento.

**Monitoramento em Tempo Real:** Durante o exercício, o ESP8266 transmite contagem de rotações a cada segundo. O sistema calcula:

$$\text{Velocidade (m/s)} : (\text{rotações/segundo}) \times \text{permetro}_{\text{roda}}$$

$$\text{Distância (m)} : \int \text{velocidade} \times \text{tempo}$$

$$\text{Aceleração (m/s}^2\text{)} : \Delta \text{velocidade} / \Delta \text{tempo}$$

Os dados brutos são salvos continuamente no banco para análise posterior detalhada.

**Finalização de Sessão:** Ao clicar em “Parar”, o sistema encerra a captura e calcula métricas consolidadas aplicando regras de exclusão temporal:

- Velocidade Máxima/Mínima: Considera todo período excluindo primeiros e últimos 30 segundos.
- Velocidade Média: Exclui primeiros 30 segundos e últimos 15 segundos.
- Aceleração Média: Exclui primeiros 30 segundos e últimos 15 segundos.
- Tempo Total: Duração completa da sessão.
- Distância Total: Somatório de toda distância percorrida.

Essas exclusões eliminam variações de aquecimento e desaquecimento, fornecendo métricas representativas do desempenho durante esforço efetivo.

## 2.4 Regras de Negócio - Sistema de Recomendação (IA)

O algoritmo KNN gera recomendações personalizadas de treino seguindo uma hierarquia de decisão:

**Opção 1 - Recomendação por Similaridade (Prioridade Alta):** O sistema identifica usuários com características clínicas similares (idade  $\pm 5$  anos, mesmo nível/categoria/gravidade de LM, mesma classe) cujas médias de velocidade estejam progredindo ou estáveis nos últimos 3 meses. Considera-se estável quando a velocidade mantém-se igual ou reduz até 10%. O KNN analisa o histórico de exercícios desses perfis similares e recomenda protocolos baseados nos treinos mais eficazes. Condição: confiabilidade do modelo  $\geq 70\%$ .

**Opção 2 - Recomendação por Histórico Próprio (Prioridade Média):** Quando a confiabilidade do KNN  $< 70\%$  (dados insuficientes ou alta variabilidade), o sistema busca no histórico do próprio usuário o exercício com melhor desempenho (maior velocidade média) e sugere replicação desse protocolo. Condição: usuário possui pelo menos um exercício registrado.

**Opção 3 - Primeiro Exercício (Prioridade Baixa):** Para usuários sem histórico de exercícios, o sistema exibe aviso solicitando a realização do primeiro treino sem recomendação prévia, estabelecendo um baseline para futuras sugestões.

**Ajuste Manual:** Administradores podem sobrescrever recomendações da IA, editando manualmente protocolos sugeridos baseando-se em avaliação clínica individualizada.

## 2.5 Regras de Negócio - Visualização e Estatísticas

**Calendário Mensal:** A interface exibe calendário do mês atual destacando dias com exercícios realizados. Um seletor de mês/ano permite navegação por períodos históricos.

**Detalhamento de Exercício:** Ao clicar em um dia específico, o sistema apresenta todas as sessões daquele dia com métricas consolidadas (velocidade máx/mín/média, aceleração média, tempo total, distância total) e opção de visualizar dados brutos segundo a segundo.

**Gráficos Estatísticos:** O sistema gera visualizações comparativas em três períodos (último mês, últimos 6 meses, último ano). Assim, é possível visualizar por meio dos gráficos a evolução da Velocidade Média (linha temporal de desempenho), Aceleração Média e Distância Percorrida (normalizada por duração para comparação entre sessões).

Cálculos estatísticos consideram apenas exercícios válidos (duração mínima de 2 minutos) e aplicam as mesmas regras de exclusão temporal das métricas individuais.

## 2.6 Página Informativa Pública

### Seções Educacionais:

- Apresentação do projeto e objetivos;
- Explicação sobre lesão medular: definição, epidemiologia, impactos funcionais;
- Classificação detalhada (ASIA Impairment Scale): causas comuns, níveis de lesão (cervical/torácica/lombar/sacral), categorias (completa/incompleta), gravidade (A/B/C/D/E), classes funcionais;
- Sedentarismo em LM: dados epidemiológicos, complicações secundárias, benefícios do exercício;
- Tutorial de uso da plataforma com capturas de tela;
- Exercícios domiciliares: vídeos demonstrativos e descrições textuais de atividades adaptadas;

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Funcionalidades Implementadas

- Sistema de autenticação com diferenciação de perfis (admin/usuário) e RLS.
- Dashboard administrativo com relatórios e controle de usuários.
- Dashboard do usuário com métricas em tempo real e histórico pessoal.
- Captura contínua de dados com latência <2 segundos.
- Algoritmo KNN implementado com 8 variáveis clínicas e confiabilidade ajustável.

### 3.2 Validação Técnica e Especificações

Tabela 1: Especificações de Hardware e Software

Componente	Descrição / Resultado
ESP8266 NodeMCU V3	Tensão 3.3V; frequência 80/160 MHz; memória flash 4MB; custo R\$30,00; conexão WiFi estável
Sensor TCRT5000	Tensão 3.3–5V; detecção 2.5mm; precisão >95%; custo R\$8,00.
Software Web	compatível com Chrome e Firefox; responsivo; atualização em tempo real <2s.
Supabase	Autenticação segura, RLS e sincronização contínua; suporte a sessões simultâneas.

O sensor TCRT5000 apresentou precisão superior a 95%, e o ESP8266 manteve conexão estável com taxa de perda de pacotes inferior a 1%. O software foi testado em múltiplos navegadores, mantendo desempenho consistente e baixa latência.

### 3.3 Desafios Superados

Tentativas de monitoramento cardíaco apresentaram inconsistência (>30% variação). Optou-se por priorizar métricas mecânicas. A amostra inicial limitada (n=12) foi compensada com abordagem hierárquica híbrida para manter a confiabilidade do sistema de recomendação.

## 4. CONCLUSÃO

O projeto LocoMove demonstrou a viabilidade técnica e econômica de uma plataforma de baixo custo para monitoramento de exercícios HIIT em indivíduos com lesão medular. Com custo inferior a R\$100,00, democratiza o acesso à tecnologia antes restrita a instituições especializadas.

Os avanços incluem: (1) sistema IoT funcional; (2) transmissão em tempo real; (3) exclusão automática de períodos não representativos; (4) personalização de treinos via IA; e (5) arquitetura escalável baseada em nuvem. O impacto abrange autonomia individual e redução de custos em saúde pública.

Trabalhos futuros: ampliar a base de usuários para aprimorar o KNN, integrar novos sensores (oximetria, temperatura), desenvolver aplicativo móvel e validar clinicamente a plataforma em larga escala.

## REFERÊNCIAS

- BAÚ DA ELETRÔNICA. Módulo Seguidor de Linha - Sensor Óptico TCRT5000. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/produto/modulo-seguidor-de-linha.html>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. ESP8266 NodeMCU - IoT. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/iot/esp8266>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- GLOBOPLAY. Reportagem sobre projeto. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/7944759/>. Acesso em: 9 nov. 2025.
- PUBMED. Efeitos do HIIT em indivíduos com lesão medular. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20434609/> e <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35391647/>. Acesso em: 8 nov. 2025.
- GITHUB. Repositório do Projeto LocoMove. Disponível em: <https://github.com/lauradefaria>. Acesso em: 12 nov. 2025.