



Nome do Aluno:

Carlos Fernando Mattos do Amaral

Eric Senne Roma

Melvin Gustavo Maradiaga Elvir

HipSafe - Sistema de Monitoramento Ativo para Reabilitação de Quadril

Campinas (SP), 16 de Julho de 2025

Descrição do Problema e Contextualização

O presente projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento contínuo do ângulo de flexão do quadril, voltado especificamente para pacientes no pós-operatório de artroplastia total de quadril. A proposta justifica-se pela necessidade de oferecer uma solução tecnológica eficaz para prevenir complicações decorrentes de movimentos inadequados durante o processo de reabilitação.

A artroplastia total do quadril é um procedimento amplamente realizado e geralmente bem-sucedido, mas exige cuidados rígidos no pós-operatório imediato, médio e longo prazos. Flexões excessivas, especialmente quando o ângulo entre o tronco e a coxa é inferior a 90°, podem causar luxação da prótese, desgaste precoce ou falhas mecânicas do implante.

Embora as equipes médicas forneçam orientações claras, muitos pacientes esquecem ou subestimam as restrições, seja por convicção de recuperação plena ou por automatismos, como posturas involuntárias durante o sono. Essas situações representam riscos significativos à integridade da prótese e à saúde do paciente.

Além disso, estudos indicam diminuição na adesão às restrições quando o paciente retorna para casa. Theaker et al. demonstraram que, embora 76 % dos pacientes relatem seguir rigorosamente as precauções durante a internação, esse índice cai para 68 % em ambiente domiciliar. O mesmo estudo apontou que 24 % dos pacientes deixam de seguir as restrições mais de 10 % do tempo, sendo o sono na posição supina a precaução mais difícil de cumprir. Esses dados evidenciam fragilidades no autocontrole sem supervisão médica, reforçando a necessidade de uma tecnologia assistiva contínua com monitoramento e alertas em tempo real.

O projeto propõe a criação de um sistema vestível com sensores inerciais capazes de capturar, em tempo real, os ângulos de flexão do quadril. Os dados serão analisados constantemente e comparados a limites de segurança previamente definidos em diretrizes clínicas. Ao identificar um ângulo crítico, o sistema emitirá um alerta sonoro imediato, permitindo que o paciente ajuste sua postura antes da ocorrência de qualquer dano.

Embora existam estudos que exploram o uso de sensores inerciais na reabilitação após artroplastia de quadril, como a revisão de escopo de Acosta-Vargas et al. (2023), que trata de análise de marcha, classificação de padrões e avaliação clínica, a maioria das soluções está limitada a ambientes controlados. O diferencial deste projeto é a monitorização contínua e em tempo real em ambiente cotidiano, inclusive durante o sono, com foco na prevenção imediata de movimentos críticos de flexão do quadril.

Assim, em vez de priorizar apenas a análise global da marcha ou reabilitação supervisionada, o sistema atua de forma preventiva, alertando o paciente no exato momento em que o ângulo ultrapassa limites seguros. Essa abordagem proativa preenche uma lacuna identificada pela literatura: a falta de soluções autônomas, portáteis e acessíveis durante o período de maior vulnerabilidade a luxações ou desgaste da prótese.

Além de contribuir para a segurança física do paciente, a solução também tende a aumentar a adesão às orientações médicas, promover conscientização sobre os cuidados necessários no pós-operatório e fornecer uma camada adicional de proteção mesmo sem supervisão direta. Esse sistema, inclusive, pode ser utilizado em futuras aplicações para acompanhamento do avanço da fisioterapia desses pacientes no processo de reabilitação, bem como para análise de marcha em ambiente domiciliar,

ampliando seu potencial de impacto positivo na recuperação funcional e na qualidade de vida dos indivíduos submetidos à artroplastia total do quadril.

Overview do Sistema

Serão acoplados três sensores inerciais no corpo do usuário (como apresentado na Figura 1) que vão gerar medidas angulares no formato *roll*, *pitch* e *yaw*. A junção dos três sensores vai permitir determinar o ângulo entre torso e perna, e a orientação do torso junto com a orientação de cada perna.

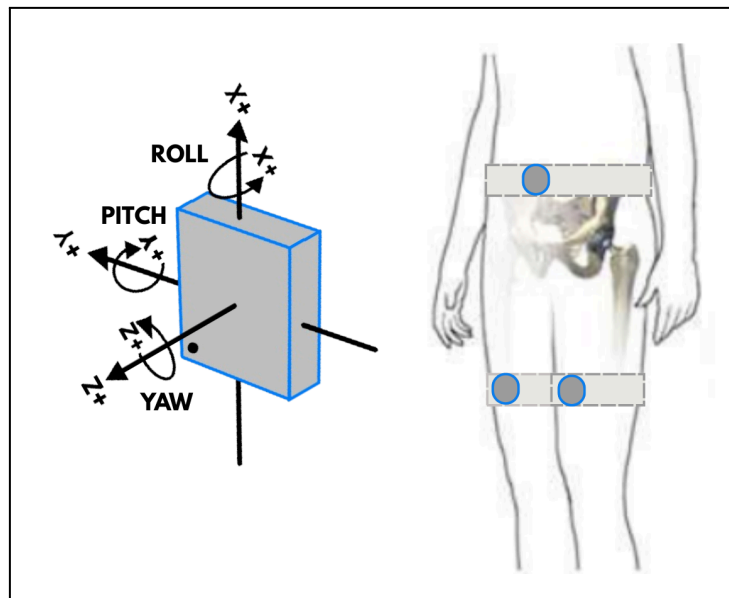


Figura 1: Posicionamento dos sensores inerciais no corpo humano. Fonte: Autores

Estes dados serão usados para detectar as posturas inadequadas apresentadas na Figura 2.



Figura 2: Posturas inadequadas na recuperação de artroplastia total de quadril. Fonte: Brainkart (s.d)

Levando isso em consideração, para garantir que o protótipo seja robusto, confiável, e que possa ser utilizado pelos mais diversos usuários, ele precisa verificar os seguintes requisitos funcionais e não funcionais:

Requisitos

Requisitos Funcionais

- O sistema deve identificar automaticamente posturas inadequadas com base em restrições clínicas previamente definidas, incluindo: flexão do quadril inferior a 90°, cruzamento de membros inferiores, rotação do tronco, rotação interna do quadril e sentar-se em superfícies com altura inferior à recomendada.
- O sistema deve empregar um algoritmo de fusão sensorial eficiente para estimar com precisão a orientação tridimensional a partir dos dados fornecidos pelos sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio), compensando erros inerentes a esses sensores e assegurando operação confiável no ambiente embarcado.
- O sistema deve emitir um alerta sonoro imediato sempre que for detectado um ângulo de flexão que ultrapasse os limites de segurança pré-estabelecidos.
- O sistema deve dispor de um mecanismo de armazenamento não volátil para registrar eventos de alerta, possibilitando a análise posterior por profissionais de saúde.
- O sistema deve adotar uma arquitetura modular e escalável, permitindo, se necessário, a integração de um sistema operacional em tempo real (RTOS) para garantir maior previsibilidade e eficiência no gerenciamento de tarefas críticas.

Requisitos Não Funcionais

- O hardware e o firmware do dispositivo devem apresentar robustez e confiabilidade, assegurando a precisão das leituras mesmo após longos períodos de uso contínuo e em situações de falha parcial de sensores inerciais..
- O hardware deve ser resistente à exposição à sudorese, mantendo seu funcionamento adequado mesmo em condições de alta umidade corporal.
- O hardware do dispositivo deve manter seu funcionamento estável e preciso mesmo quando exposto à temperatura corporal humana, sem comprometer a integridade dos componentes ou a confiabilidade das medições.
- O sistema deve ser de fácil instalação e remoção, permitindo que o próprio usuário o posicione e retire com mínimo esforço, sem necessidade de assistência técnica.
- O sistema deve identificar posturas inadequadas com base na análise dos ângulos roll, pitch e yaw.
- O sistema deve incorporar um mecanismo de economia de energia que permita sua operação contínua por, no mínimo, 24 horas com uma única carga de bateria.
- O sistema deve operar com taxa de amostragem dos sensores inerciais suficiente para garantir a resolução temporal necessária à detecção precisa de movimentos críticos, sem comprometer a estabilidade ou o desempenho do sistema embarcado.
- O sistema deve ser implementado utilizando os módulos da plataforma BitDogLab, incluindo obrigatoriamente o sensor inercial MPU6050 para a aquisição dos dados de movimento, e do módulo de SDCard do Kit de Periféricos Básicos do BitDogLab, para armazenamento dos dados.

Lista de Materiais

- Placa de desenvolvimento educacional BitDogLab V.6.3
- Módulo SDCard
- (x3) Módulo do sensor inercial MPU6050
- Dispositivo de fixação (Bermuda de lycra ou tiras elásticas → à definir)
- Cabos de comunicação I2C

Referências:

[1] THEAKER, Justine; OLDHAM, Jackie; CALLAGHAN, Michael; PARKES, Matthew. Assessment of patients' self-reported levels of adherence to postoperative restrictions following total hip replacement. *Physiotherapy*, [S.l.], v. 117, p. 1–7, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2022.04.001>. Acesso em: 16 jul. 2025.

[2] ACOSTA-VARGAS, P.; PACHECO, D. J. A.; SALAZAR-CABRERA, M. R.; GUZMÁN, J. A. Inertial sensors for hip arthroplasty rehabilitation: a scoping review. *Sensors*, Basel, v. 23, n. 11, p. 5048, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23115048>. Acesso em: 16 jul. 2025.

[3] BRAINKART. Total Hip Replacement - Managing the Patient Undergoing Orthopedic Surgery. Disponível em: https://www.brainkart.com/article/Total-Hip-Replacement---Managing-the-Patient-Undergoing-Orthopedic-Surgery_32570/. Acesso em: 17 jul. 2025.