



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2025**

Projeto de órtese ativa para uma junta de joelho servo-controlado bio-acionado sinais sEMG e pressão plantar

Antonio Nicassio Santos Lima¹; Armando S. Sanca²

1. Antonio Nicassio Santos Lima, PVIC/UEFS, ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO, e-mail: 20111189@discente.uefs.br

2. Armando Sanca Sanca, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA, e-mail: armando@ecomp.uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Pressão Plantar; STM32; Servo-controle; Órtese Ativa; Impressão 3D.

INTRODUÇÃO

Lesões no joelho impactam significativamente a rotina e a qualidade de vida de um indivíduo. Diversos fatores podem contribuir para essas lesões, incluindo atividades esportivas, acidentes, doenças degenerativas e principalmente o processo de envelhecimento. Movimentos repetitivos exigidos nas atividades diárias, como sentar e levantar, aliados a uma predisposição à fraqueza articular, podem levar à deterioração das estruturas do joelho (URESTI, 2016). Para auxiliar no tratamento de tais lesões e melhorar a mobilidade desses indivíduos, existem as órteses de joelho, que oferecem suporte adicional e contribuem para a reabilitação e a independência dos usuários.

Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de órtese ativa servo-controlada para o joelho, bio-acionada por um sistema vestível que captura sinais de eletromiografia superficial (sEMG) e pressão plantar. Além disso, a utilização de sensores de posição e atuadores eletromecânicos possibilitam a realimentação em tempo real, essencial para a estabilidade e precisão do sistema.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho compreendeu duas frentes principais: o desenvolvimento e validação de um sistema de controle de posição do atuador e o projeto para acomodar o atuador na forma de protótipo de órtese.

Inicialmente, foi desenvolvido e implementado um controlador de posição para um motor DC (*Direct Current*). Este controlador foi submetido a testes de desempenho para avaliar sua capacidade de rastrear trajetórias angulares, para sinais de referência, estimados por palmilhas piezorresistivas, executando movimentos de flexão e extensão do joelho durante a marcha.

Paralelamente, conduziu-se uma revisão bibliográfica sobre o princípio de funcionamento de órteses ativas. O conhecimento adquirido foi fundamental para orientar o projeto de um protótipo 3D, layout modelado no Onshape. Este modelo foi concebido para integrar futuramente os sensores, o atuador e o sistema de controle embarcado, necessários para o estudo de marcha antropomórfica.

A Figura 1, ilustra o sistema implementado com as seguintes características:

- Microcontrolador: uma unidade STM32H743 foi empregada como núcleo de processamento, responsável por executar o algoritmo de controle, gerar os sinais de atuação e adquirir dados do encoder.
- Atuador e Encoder: um motor DC, acoplado a um encoder óptico, funcionou como o atuador do sistema para o controle de posição da junta de joelho em malha fechada.
- Eletrônica de Potência: uma fonte de alimentação externa fornece energia ao driver motor do tipo Ponte H (L298N). O microcontrolador STM32, comanda a Ponte H por meio de sinais PWM (*Pulse Width Modulation*), controlando assim a velocidade, posição e o sentido de rotação do motor DC. O encoder, conectado diretamente ao STM32, fornece a realimentação, fechando o laço de controle.

Para desenvolver o controlador, primeiro modelou-se o sistema a ser controlado a partir da sua resposta ao sinal degrau (BAZANELLA, 2005), ao obter a função de transferência de velocidade do motor DC caracterizada na equação (1), após a validação dessa função, foi deduzida a função de transferência de posição, equação (2), que foi utilizada como base para o projeto do controlador.

$$G_{vel}(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (1)$$

$$G_{pos}(s) = \frac{K}{s(\tau s + 1)} \quad (2)$$

$$C_{PID}(z) = P + I \cdot T_s \cdot \left(\frac{1}{z - 1} \right) + D \cdot \frac{1}{T_s} \cdot \left(\frac{z - 1}{z} \right) \quad (3)$$

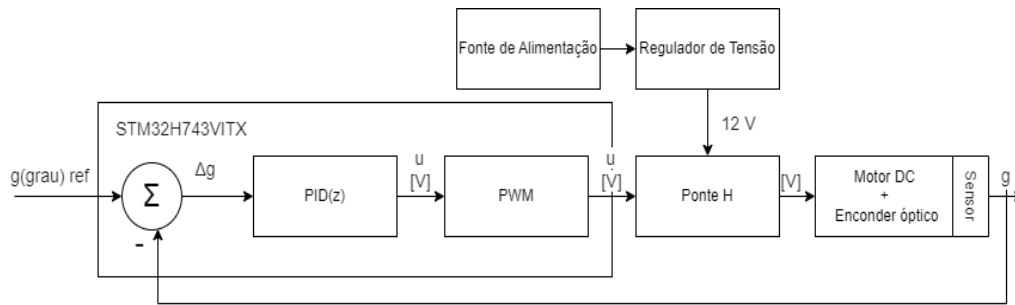


Figura 1: Sistema em malha fechada.

Após obter os parâmetros da função de transferência, um controlador proporcional integral e derivativo (PID) discreto de posição foi projetado, conforme a equação (3). O controlador foi ajustado e implementado, conforme os parâmetros da Tabela 1. Nessa configuração, o controlador recebe o erro Δg (diferença entre a posição de referência e a atual) e gera um sinal de controle (tensão em volts) PWM.

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Ganho	K	17.33	—
Constante de Tempo	τ	0.055	s
Período de Amostragem	T_s	10×10^{-6}	s
Ganho Proporcional	P	17.6309172017825	—
Ganho Integral	I	153.069061479678	—
Ganho Derivativo	D	0.507694434648659	—

Tabela 1: Parâmetros determinados e usados no controle do motor DC.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento do projeto foram encontrados resultados significativos, relacionados ao rastreamento dos ângulos da caminhada, com o sistema de controle desenvolvido.

Para medição do ângulo de giro do motor, foi utilizado um encoder óptico que gera 30672 pulsos por revolução, e normalizados para leituras em graus. O controlador é submetido para uma trajetória de joelho de referência, sinal gerado pela estimação por aprendizado de máquina para dados de palmilhas piezorresistivas instrumentadas, metodologia e objetivo de outro plano de trabalho.

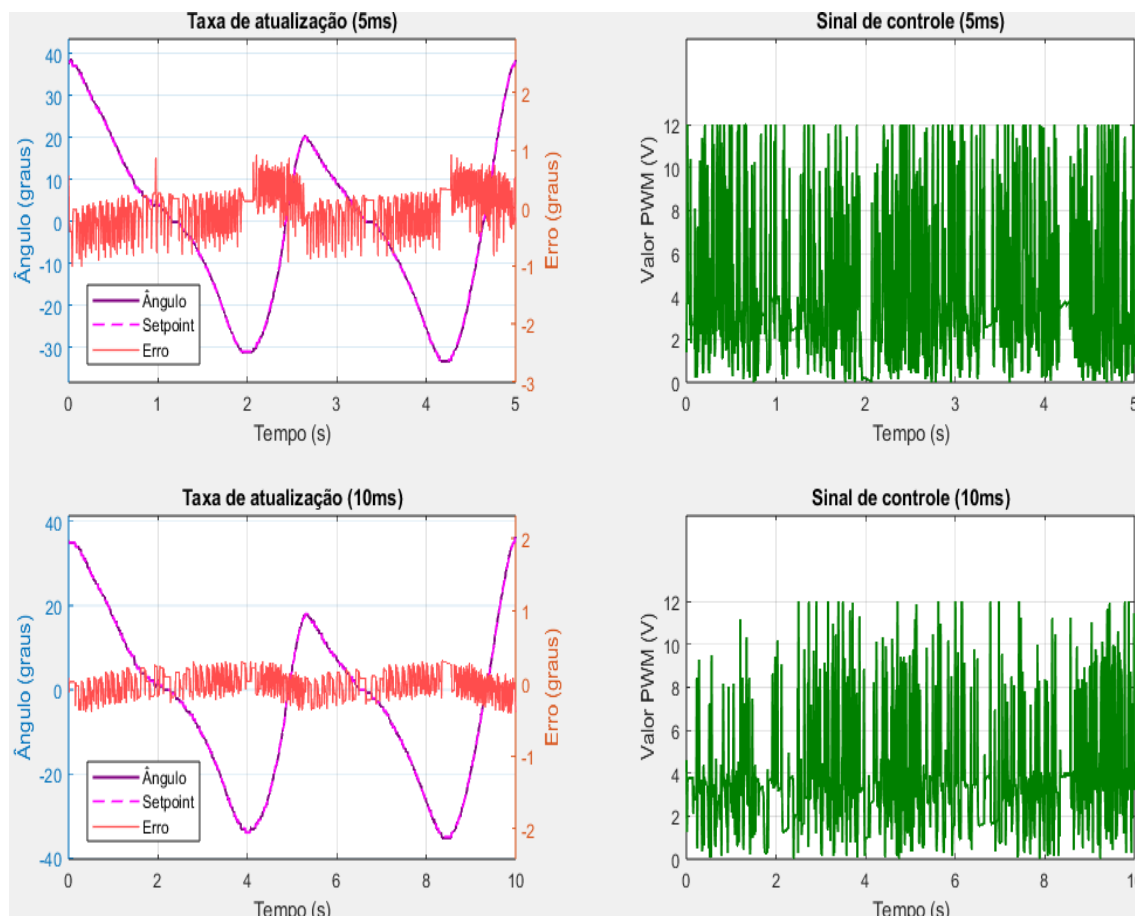


Figura 2: Desempenho do controlador ao rastreamento de trajetória da junta de joelho com taxas de amostragem de 5 e 10 ms..

O controlador foi submetido a diferentes tempos de atualização das trajetórias angulares, simulando movimentos de flexão/extensão lentos (10 ms) e rápidos (5 ms), conforme ilustra a figura 2. O desempenho do controlador a uma taxa de atualização de 5 ms realizou o rastreamento de trajetória com erro médio quadrático (RMSE) de 0.3523, com um sinal de controle com grau de saturação maior. Entretanto, ao aumentar a taxa para 10 ms o RMSE cai para 0.1823, rastreamento assim a trajetória e o sinal de controle com melhor desempenho. Também, na figura 2, é possível observar os sinais de erro em graus (em laranja à direita).

O modelo final do protótipo da órtese é mostrado na Figura 3, onde o motor DC é encaixado na estrutura, fixado através de parafusos, garantindo seu movimento através de rolamentos agulha, colocados em sua parte interna.

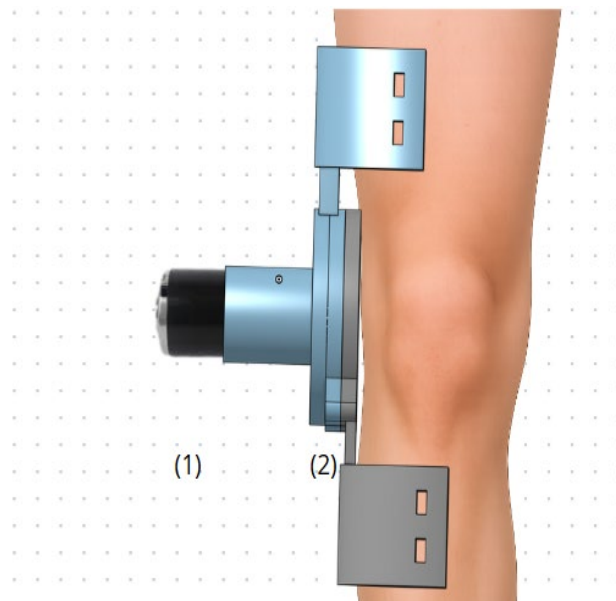


Figura 3: Protótipo da órtese.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

Este plano de trabalho concentrou-se no desenvolvimento e implementação de um controlador para atuador de uma junta de joelho, cujo objetivo do projeto de pesquisa é auxiliar na reabilitação e na recuperação da mobilidade. O trabalho estabeleceu as bases de um sistema servo-controlado, incluindo a obtenção das funções de transferência e a implementação do controlador PID discreto no microcontrolador STM32.

A análise do controlador revelou uma relação direta entre a taxa de atualização e a precisão de convergência do sistema microcontrolado. Os resultados obtidos indicam que uma taxa de 10 ms minimiza o erro de rastreamento e reduz a saturação do sinal de controle.

As implicações do projeto residem na promessa de um novo tipo de dispositivo de assistência à mobilidade. A criação de um modelo de órtese ativo capaz de integrar sensores de biosinais, abre caminho para a pesquisa e o desenvolvimento de dispositivos mais inclusivos. No trabalho futuro pretende focar na montagem e teste do protótipo real, o que permitirá a validação experimental.

REFERÊNCIAS

URESTI, E., Ramírez-Martínez, L., Sáenz-Belmonte, L., Barrón-Gamez, E., & López-Garza, A. (2016). Órtesis Multifuncional Adaptable para Movilidad de Extremidad Inferior. DOI:10.13140/RG.2.2.19435.49443.

SANCA, A.S. 2021. Desenvolvimento de estimadores embarcados para a análise biomecânica da caminhada antropomórfica aplicado a uma órtese robótica para membros inferiores. Universidade Estadual de Feira de Santana, Projeto de Pesquisa CONSEPE 081/2021.

BAZANELLA, Alexandre Sanfelice; GOMES DA SILVA, J. M. Sistemas de Controle. **Princípios e Métodos de Projeto**. UFRGS, Porto Alegre, 2005.