

UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE EXOESQUELETOS – PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EXOESQUETO ROBÓTICO PARA PARAPLÉGICOS

Guilherme Nogueira Guidorzi ¹; Alessandra Dutra Coelho ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *Este trabalho propõe dar continuidade ao projeto e construção de um exoesqueleto para permitir a movimentação de pessoas com mobilidade reduzida ou de deficientes com incapacidade de movimentar seus membros inferiores com auxílio de muletas. A principal contribuição é a criação de um protótipo com dimensões reais incluindo o projeto mecânico, projeto eletrônico e programação. O principal enfoque é no projeto eletrônico, o qual deve incluir a especificação de atuadores, sensores de posicionamento (encoders), sistema de acionamento e sistema de alimentação com baterias. A avaliação de desempenho será realizada por controle externo utilizando dispositivo de comando e/ou interface em computador.*

Palavras-chave: Exoesqueleto, Robótica, Sistemas Mecatrônicos, Sistemas Microcontrolados.

Introdução

Existem milhões de pessoas no mundo com deficiência nos membros inferiores, necessitadas de dispositivos que as auxiliem em sua reabilitação ou que as assistam permanentemente. A deficiência física, além de causar uma dependência de outras pessoas, que segundo pesquisas, aumenta as chances de depressão ou morbidez, ainda pode causar problemas de saúde, tais como: diminuição da massa muscular, diminuição da capacidade aeróbica, infecção urinária, osteoporose, disfunção renal e doenças cardíacas; já que a movimentação nos membros inferiores é muito reduzida ou nula. Estes fatores combinados causam uma grande redução na expectativa de vida.

Uma das áreas mais promissoras para ajudar na mobilidade dos deficientes dos membros inferiores bem como colaborar no tratamento e fisioterapia, é o uso de exoesqueletos humanos, ou seja, armações mecânicas, geralmente de metal, movidas por motores, sistemas hidráulicos ou elásticos que permitem reproduzir movimentos típicos do ser humano.

No Instituto Mauá de Tecnologia, foi realizada a construção mecânica de um exoesqueleto robótico para membros inferiores aplicado a pessoas com paraplegia, ou seja, que ainda tenham os movimentos dos membros superiores (Bologna e Coelho, 2013). O projeto incluiu o desenvolvimento de um protótipo em escala 1 x 2, incluindo sistema eletrônico para interpretar os comandos do usuário, gerar os ângulos de referência e controlar os atuadores. Embora o protótipo tenha se mostrado viável, leve e de custo reduzido, tem ainda várias limitações por apresentar reduzidas dimensões e apenas dois graus de liberdade.

No ano de 2015, foi continuado o trabalho sendo realizado o Trabalho de Conclusão de Curso (Savero, 2015) e um projeto de iniciação científica (Castro, 2015). Nesse trabalho foi desenvolvido o projeto mecânico do exoesqueleto. Cada perna do exoesqueleto tem um peso de cerca de 9,75 kg, sendo que a maior parte desse peso está nos motores por conta do seu sistema de redução. Foi também desenvolvido um circuito eletrônico para acionamento do exoesqueleto.

Nesse trabalho pretende-se dar continuidade ao trabalho de (Castro, 2015), com os seguintes itens:

- Projeto de um encoder para controlar o ângulo dos motores;
- Desenvolvimento do algoritmo de controle;
- Interface gráfica para acompanhamento do controle.



Figura 1 – Projeto do Exoesqueleto desenvolvido no Instituto Mauá de Tecnologia.

Material e Métodos

Como este projeto é uma continuação direta do projeto realizado por (Castro, 2015), alguns pontos do projeto são mantidos, como por exemplo: projeto mecânico e os motores especificados. O diagrama de blocos utilizado criado por (Castro, 2015) sofrera pequenas modificações, por conta do projeto do encoder. Portando o novo diagrama é ilustrado na Figura 2:

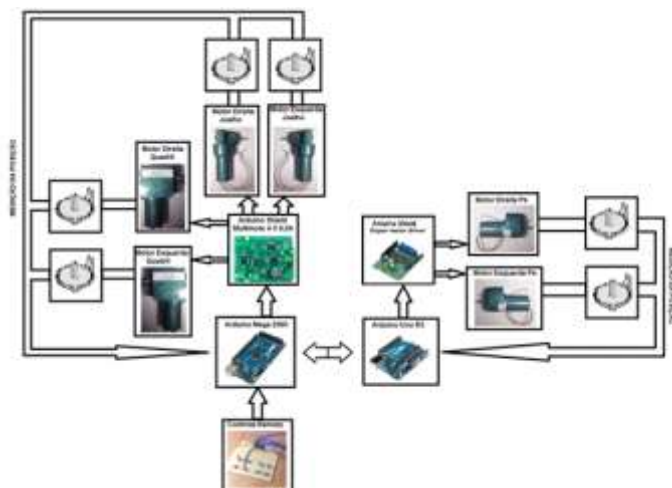


Figura 2 - Diagrama completo do exoesqueleto.

Os componentes utilizados para o projeto eletrônico do exoesqueleto são listados a seguir:

Arduino Uno – Arduino Uno é uma plataforma de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR (Atmega328) a qual possui 14 pinos de entrada e saída digital e 6 entradas analógicas. É o dispositivo no qual, será realizada a programação embarcada para controlar os motores acoplados à parte inferior do exoesqueleto que irão permitir a movimentação dos pés.

Arduino Mega – Arduino Mega é uma plataforma de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR (ATMega1280) a qual possui 54 pinos de entrada e saída digital, 16 entradas analógicas e 4 UARTs (*Universal Asynchronous Receiver / Transmitter*) para comunicação serial. É o dispositivo no qual será realizada a programação embarcada para permitir o monitoramento do controle remoto bem como acionar os principais motores do exoesqueleto.

Motor de corrente contínua com redução do quadril – Trata-se de um motorreductor com eixo de saída lateral e com as seguintes especificações: 120W, 24V, 12rpm, 55Nm, 4kg, redução 200:1. Utilizado na articulação do quadril do exoesqueleto deve ser capaz de movimentar toda a perna.

Motor de corrente contínua com redução do joelho – Trata-se de um motorreductor com eixo de saída lateral e com as seguintes especificações: 70W, 24V, 12rpm, 21Nm, 2kg, redução 340:1. Utilizado na articulação do joelho do exoesqueleto.

Motor de corrente contínua com redução do tornozelo – Trata-se de um motorreductor com eixo de saída frontal e com as seguintes especificações: 50W, 24V, 12rpm, 1,5kg, redução 340:1. Utilizado na articulação do tornozelo e permite a movimentação pé do exoesqueleto.

Driver para acionamento do motor (do quadril e do joelho) – ShieldMotor para Arduino constituído por dois CIs VNH5019 da ST. Cada CI possui uma ponte-H (4 transistores chaveados), e consegue fornecer até 12A contínuos para sua carga e operar de 5,5V a 24V.

Driver para acionamento do motor (do tornozelo) - Arduino Shield MultiMoto. Este shield controla até 4 motores de até 6,5A cada de maneira independente. Ele é composto por 4 ponte-H. Cada ponte-H é capaz de acionar um motor e controlar sua direção.

Bateria – Bateria de íon-lítio de 24V e 12A. O consumo de corrente varia de acordo com o esforço realizado pelos motores.

Encoder Rotativo – Sensor capaz de quantificar a posição e velocidade do motor, para cada motor é projetado um encoder, assim consegue-se ter um controle em malha fechada de melhor precisão.

Os seguintes softwares foram utilizados durante o projeto:

IDE Arduino - Aplicativo em Java que consiste no ambiente de programação, compilação e gravação do Arduino Mega.

WheelEncoderGenerator – Aplicativo capaz de gerar o esquema do disco do encoder através da resolução e tamanho do mesmo;

Multisim – Software utilizado para a simulação dos circuitos eletrônicos projetados;

LabView – Utilizado para criar a interface gráfica.

Nas próximas seções serão detalhados os projetos e testes realizados.

Encoder

Encoder é um componente destinado a mensurar posição e/ou velocidade de algum atuador de interesse. No projeto do exoesqueleto deseja-se mensurar o ângulo de cada motor rotacional. Com o monitoramento do ângulo de cada motor, se consegue juntamente com o estudo da marcha, fazer um controle em malha fechada do exoesqueleto, não trazendo perigo para o usuário, diferente do que aconteceria com o exoesqueleto funcionando em malha aberta.

Atualmente existem dois tipos de encoders rotativos: absoluto e incremental. No absoluto cada posição tem um código gray ou binário específico. O tamanho desse tipo de encoder é relativamente menor do que o incremental, entretanto esse tipo de encoder é de difícil confecção, pois torna necessário a utilização de mais que um sensor óptico (foto-sensor).

Para o projeto foi usado o encoder incremental. Nesse tipo de encoder cada deslocamento gera um pulso, contando a quantidade de pulsos pode-se calcular o ângulo que

o motor foi deslocado. A maior vantagem desse tipo de encoder é que necessita de somente um sensor foto-sensor, a grande desvantagem é que ele acaba ocupando mais espaço quando comparado ao encoder absoluto por conta do tamanho do disco. A Figura 3 ilustra o funcionamento e construção de um encoder rotativo incremental:

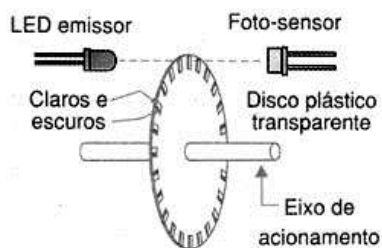


Figura 3 - Esquema de montagem de um encoder incremental.

Em todos os seis encoders incrementais do exoesqueleto foram utilizados a mesma resolução, ou seja, precisão do encoder, cerca de 1,36 graus a cada pulso. Para essa resolução o disco do encoder tem que ter 256 ranhuras. Por conta da grande quantidade de ranhuras e da precisão do foto-sensor o disco acaba assumindo dimensões grandes, para esse encoder o tamanho fica em cerca de 100 milímetros.

Para a geração do esquema do disco do encoder foi utilizado o aplicativo *WheelEncoderGenerator*, sendo definido os seguintes parâmetros: 256 ranhuras, diâmetro externo igual a 100 milímetros e com uma faixa de referência, que é utilizada para se ter um zero absoluto no encoder mas para utilizar essa faixa se faz necessário a utilização de um foto-sensor interruptor dedicado a ela. Como saída o aplicativo retornou a Figura 4.

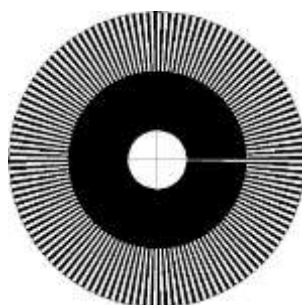


Figura 4 - Disco do encoder projetado.

Como pode ser observado na Figura 4, existem 2 faixas de atuação dos sensores foto-interruptores, a faixa com maior quantidade de ranhuras é onde se conta a quantidade de pulsos para quantificar em ângulo e/ou velocidade. A faixa com apenas uma ranhura funciona para o foto-sensor como referência de zero.

O encoder incremental vai apenas retornar pulsos, assim não entrega um dado quantizado de posição e/ou velocidade. O estudo de como quantizar os pulsos é feito na próxima seção, pois aborda conceitos de eletrônica.

Circuito Eletrônico

Como o encoder é construído a partir de um foto-sensor, a variável de retorno são pulsos a cada ranhura que o sensor ultrapassa, mas para efeitos de controle é necessário que se saiba efetivamente o ângulo que foi deslocado. Essa quantização pode ser trabalhada basicamente de duas maneiras.

A solução mais simples consiste nos pulsos serem enviados diretamente para o microcontrolador. No mesmo pode-se contar a quantidade de pulsos e converter essa quantidade na variável de interesse, no nosso caso o ângulo. Nesse método torna-se bem mais simples quantificar o valor do ângulo a partir dos pulsos. Mas o microcontrolador pode ficar sobrecarregado dependendo da aplicação na qual ele está sendo utilizado.

A ideia da segunda solução é fazer todo esse trabalho de conversão em algum hardware externo. No microcontrolador existem portas de leitura analógica, nessas portas se consegue interpretar valores de 0V a 5V. A Figura 5 ilustra o esquema para o funcionamento do hardware externo proposto.

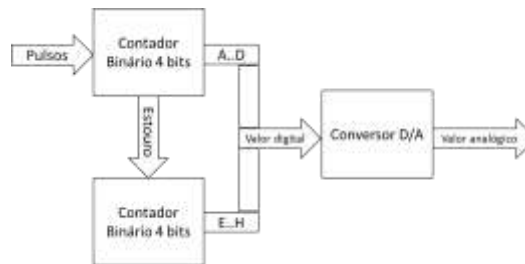


Figura 5 - Representação em diagrama de blocos do hardware.

Onde:

Pulsos – No momento que o motor se move, o foto-sensor é acionado por conta das ranhuras do disco do encoder;

Contador Binário 4 bits – No mercado se encontra com maior facilidade circuitos integrados contadores de 4 bits. Como no encoder existem 256 ranhuras se faz necessário ter 8 bits, pois com contador de 8 bits se consegue 256 combinações;

Estouro – Quando o contador que recebe os pulsos chegar ao valor máximo pode-se enviar um sinal para o próximo contador. Com essa ideia é feita a interligação entre os dois contadores;

Valor digital – É o resultado binário da contagem dos pulsos, com 8 bits (bits A até H);

Conversor D/A – No microcontrolador pode ser feita essa conversão, mas ocuparia uma grande quantidade de portas. Como solução desse problema é feita a conversão sem utilizar o microcontrolador;

Valor analógico – O microcontrolador interpreta sinais analógicos que varia de 0V a 5V, por conta disso a saída do conversor é um sinal nessa faixa.

A Figura 6 representa o esquema eletrônico da parte digital do circuito, ou seja, os contadores. Já na Figura 7 é apresentado o esquema eletrônico da parte analógica, em outras palavras, o conversor D/A. Para os dois circuitos foi utilizado o software *MultiSim*.

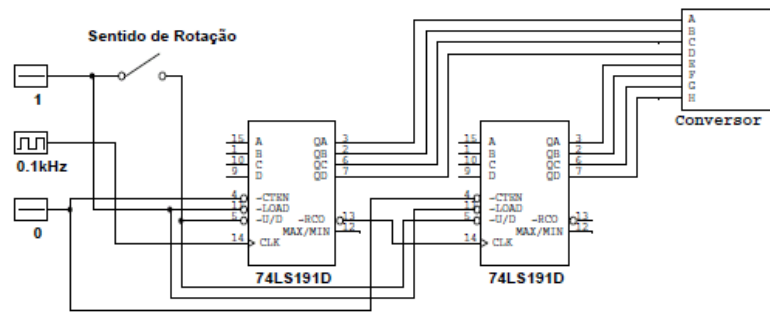


Figura 6 - Esquema elétrico, parte digital do hardware.

Por conta de suas características o circuito integrado 74LS191D foi o escolhido para ser utilizado como contador binário. A chave “Sentido de Rotação” é uma saída do microcontrolador que será enviada para o *shield* do motor. Essa saída define o sentido de rotação do motor, no circuito digital é o que define o tipo de contagem que o contador vai realizar, ou seja, contagem ascendente ou descendente.

No conversor D/A, apresentado na Figura 7, foi optado em se utilizar uma rede R-2R por conta da facilidade de se encontrar os resistores utilizados, já que somente utiliza dois valores de resistores. Outro efeito causado pela utilização da rede R-2R é a menor variação do valor real da resistência, já que não precisa realizar tantas associações para chegar ao valor desejado.

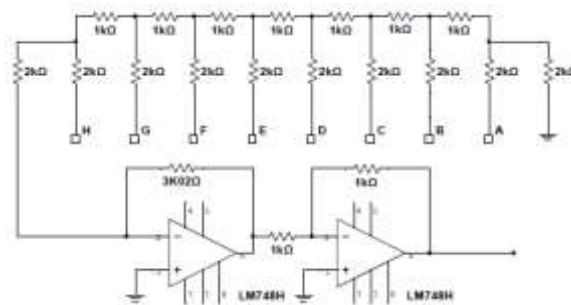


Figura 7 - Esquema elétrico, parte analógica do hardware.

Simulação

Na simulação também foi utilizado o *Multisim*, para o funcionamento eficaz do encoder a cada pulso tem que existir um aumento na tensão de saída do mesmo, assim o microcontrolador lendo o valor através de uma entrada analógica é capaz de quantificar o valor do ângulo atual. No caso do Arduino, o microcontrolador utilizado, essa tensão de entrada analógica pode variar de +0V a +5V.

A Figura 8 demonstra a simulação realizada, sendo o sinal em cor preta o pulso vindo do foto-sensor, ou seja, cada ranhura que o sensor detectou já o sinal em vermelho é a saída do circuito de conversão D/A, o sinal que efetivamente o microcontrolador vai receber e controlar. Como esperado o circuito é sensível a cada borda de subida dos pulsos, em outras palavras, a cada borda de subida o valor de saída do sensor é incrementado linearmente.

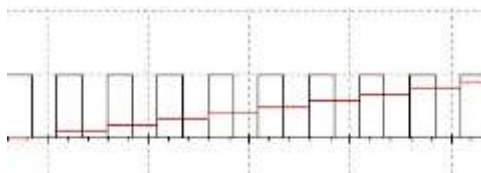


Figura 8 - Simulação, variação para pulsos na entrada.

Um dos comportamentos mais importantes para esse circuito é sempre manter a tensão na faixa que o microcontrolador suporta, pois se o encoder enviar um valor fora dessa faixa a entrada do microcontrolador pode vir a queimar ou o algoritmo de controle não funcionará adequadamente.

Na Figura 9 pode se observar que o sinal varia dentro do esperado, ou seja, está dentro do que o Arduino, suporta assim proporcionando um bom funcionamento do algoritmo de controle, e também ele tem um funcionamento esperado para quando se muda a direção que o motor esta girando, decrementando o valor de saída do sensor.



Figura 9 - Simulação, variação na direção de rotação do encoder.

Interface

Para um melhor acompanhamento do sistema de controle, foi desenvolvida uma interface gráfica utilizando LabView. Na interface gráfica é possível acompanhar o funcionamento do exoesqueleto em tempo real, com informações de posição e velocidade.

A interface gráfica se torna muito útil no momento que se torna perigoso testar o exoesqueleto diretamente com o usuário final, assim podendo gerar machucados ou incômodos no usuário. Com a interface pode-se saber se o exoesqueleto está dentro da faixa de atuação do corpo humano, como também fazer ajustes finos dependendo das limitações do usuário.

Como apresentado na Figura 10, cada aba do simulador mostra o gráfico de posição de cada membro. É possível configurar o simulador com alguns parâmetros:

- tempo de amostragem: tempo de coleta de dados do computador com o microcontrolador;
- quantidade de ciclo de marcha: quantidade de repetições de marcha;
- velocidade: é possível configurar diferentes velocidades para cada membro;



Figura 10 - Interface gráfica.

Com esta interface gráfica é possível comparar os resultados obtidos com os resultados teóricos de biomecânica, assim é possível ter um parâmetro de quanto o exoesqueleto chega próximo de movimentos reais e assim obter a validação do mesmo.

Sistemas de Controle

Para se fazer o estudo do sistema de controle do exoesqueleto, primeiro é feita uma análise dinâmica do sistema a partir das leis da física. Por conta de sua complexidade foi modelado apenas considerando uma perna. Na Figura 11 é mostrado o esquema utilizado para fazer a modelagem.

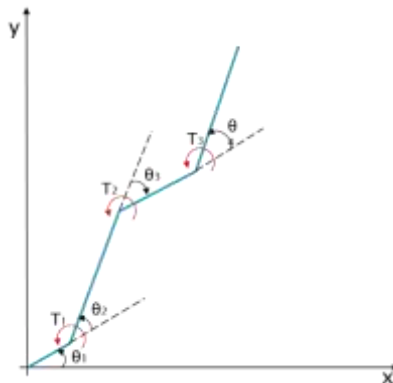


Figura 11 - Esquema do exoesqueleto.

O modelo de um exoesqueleto com seis graus de liberdade, gera um conjunto de equações que além de serem não lineares, é de uma complexidade bastante avançada. Primeiramente para simplificar o controle, foi imposto que o movimento do tornozelo não é um grau de liberdade independente, ou seja, ele pode ser descrito pelos movimentos do quadril e joelho.

Mesmo com a diminuição dos graus de liberdade, o sistema continua não linear e por isso a estratégia de controle baseada é no levantamento do modelo linear.

Para isso apenas tem que se aplicar um degrau e assim coletar a saída de velocidade. A partir disso é possível fazer estudos com a saída para se obter um modelo de velocidade com o formato mostrado na função de transferência abaixo:

$$G_{vel}(s) = \frac{K_{vel}}{\tau_m s + 1}$$

Aplicando um integrador na função de transferência de velocidade, se obtém a função de transferência da posição do motor:

$$G_{pos}(s) = \frac{K_{vel}}{s(\tau_m s + 1)}$$

Com o modelo de posição definido torna-se simples o problema de controle. Mas como é uma aproximação vai existir algum tipo de erro neste modelo.

Para o controlador existe uma grande gama de tipos, analisando a função de transferência de posição e determinando que o erro estacionário da malha de controle seja nulo, pode se imaginar em utilizar apenas um controlador PD, porém, como o modelo é uma aproximação do real, se faz necessário a utilização do PID para assim garantir um erro estacionário próximo de zero. A função de transferência do controlador PID é mostrada abaixo:

$$G_C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

Para escolha dos valores dos ganhos K_p , K_i e K_d pode se utilizar o modelo calculado anteriormente, fazendo uma análise da posição dos polos pode-se chegar em um bom resultado, mas como comentado anteriormente o modelo é uma aproximação podendo existir erros que se tornarão grandes.

Pensando nisso pode-se aplicar o método de parametrização de Ziegler-Nichols, nesse método o ganho integral e derivativo primeiramente é fixo como nulos, já o ganho proporcional é elevado até o sistema começar a existir oscilações, então o valor desse ganho é K_u , e o período dessas oscilações é T_u . Utilizando as relações de Ziegler-Nichols, chega nas equações abaixo:

$$\begin{aligned} K_p &= 0,60K_u \\ K_i &= \frac{2K_p}{T_u} \\ K_d &= \frac{T_u K_p}{8} \end{aligned}$$

Resultado e Discussão

O projeto do encoder rotativo para os motores do exoesqueleto foi concluído, a partir de simulações pode-se verificar que o encoder tem um bom funcionamento, mas quando foram realizados testes com componentes reais pode-se perceber uma variação de *off-set*, como também um ruído. Esses problemas existem por conta de os componentes não serem ideais, pois na simulação se leva em conta componentes ideais.

O encoder não foi implementado nos motores a serem utilizados, pois não foi possível utilizar o foto-sensor uma vez que o feixe é de uma magnitude muito forte. Como foi utilizado um disco de acrílico com um adesivo representando as ranhuras, o sensor não conseguiu identificar diferença entre o preto e o branco.

A interface gráfica desenvolvida ajudou a validar o projeto do encoder, já que a partir dela se pode ver como o circuito variava os pulsos. Um dos maiores desafios foi a comunicação entre o Arduino e a interface gráfica. Por esse motivo não foi capaz de se fazer a programação completa da interface gráfica.

Atualmente com a interface gráfica é possível comunicar com apenas com um Arduino, mas no exoesqueleto é utilizado dois Arduinos, pois com apenas um Arduino não é possível realizar o acionamento dos seis motores.

Para o controle foi realizado um estudo de qual método de controle utilizar, como a complexidade do modelo completo é muito avançada e com uma quantidade avançada de graus de liberdade, são propostos dois métodos de controle: obter o modelo linear através de ensaios para projetar o controlador ou utilizar o método Ziegler-Nichols. Com ele é possível utilizar um controlador PID e parametrizar sem a necessidade de um modelo.

Não foi possível começar a implementação do projeto de controle por falta de conclusão total do encoder. Mas o controlador PID, como maioria dos casos de controle, se bem parametrizado deve gerar um ótimo controle ao exoesqueleto.

As próximas etapas do projeto seriam: melhorias de precisão e prototipagem do encoder rotativo; desenvolver a programação completa da interface gráfica sendo capaz de enviar e receber dados de mais de um Arduino; e implementação do controle.

Conclusões

A construção de um esqueleto robótico é um projeto complexo e que demanda melhorias contínuas. O projeto descrito neste trabalho consiste numa importante contribuição pois permitiu:

- projeto de um encoder rotativo de baixo custo;
- criação de uma interface gráfica para acompanhamento de testes reais e validações comparando com valores reais;
- modelo não linear do exoesqueleto, com ele é possível perceber a complexidade do controle a partir de controle clássico;
- análise da malha de controle, para a escolha do controlador a ser utilizado em um futuro controle.

Não foi possível concluir o controle do exoesqueleto por conta da falta dos encoders rotativos, mas um grupo de Trabalho de Conclusão de Curso desenvolveu um controle utilizando como sensor potenciômetros. Essa solução é barata e simples, mas para projetos futuros o ideal é se concluir e validar em sua totalidade o encoder rotativo para assim poder utiliza-lo para o controle.

Este trabalho encaminhou bem algumas partes do projeto, como o projeto do encoder rotativo e o sistema supervisor através de uma interface gráfica criada através do LabView, mas ainda falta a conclusão e validação do que este projeto desenvolveu. Para um próximo trabalho, de imediato seria necessário concluir essas etapas, assim o exoesqueleto estaria pronto para o controle e validação do mesmo.

Referências Bibliográficas

Bologna, I. G. B.; Coelho, A. D. (2013). Estudo e Desenvolvimento da Estrutura Mecânica de um Exoesqueleto. 5. Seminário Mauá de Iniciação Científica.

Castro, V. A. F.; Fabbrini, P. H. B.; Cascino, R. S.; Teixeira, W. G. (2016) “ Robô bípede”, Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Controle e Automação do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP.

Castro, V. A. F. (2015) “Contribuição para o desenvolvimento de exoesqueletos – Projeto do circuito eletrônico para um exoesqueleto em tamanho real.” 7. Seminário Mauá de Iniciação Científica.

Castrucci, Plínio de Lauro; Bittar, Anselmo; Sales, Roberto Moura. Controle Automático. Rio de Janeiro, RJ: LTC,

Close, Charles M; Frederick, Dean K; Newell, Jonathan C. Modeling and analysis of dynamic systems. 3. ed. Hoboken, NJ: John Wiley,

Hamill, J.; Knutzen, K. M. (1999) Bases Biomecânicas do Movimento Humano, 1ª Edição, Editora Manole, EUA.

Italiano Jr., A. S.; Tasaka, F. M.; Ramos, F. S.; Pasquini, W. S. V. A. (2015) Análise Estrutural e Construção Mecânica de um Exoesqueleto para Membros Inferiores, Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP.

Jardim, B. (2009) Atuadores Elásticos em Série Aplicados no Desenvolvimento de um Exoesqueleto Para Membros Inferiores, Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

Santos, D. P. (2011) Projeto Mecânico de Exoesqueleto Robótico para Membros Inferiores, Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Sankai, Y. (2011) “HAL: Hybrid Assistive Limb Based on Cybernetics”, Robotics Research - Springer Tracts in Advanced Robotics, Volume 66, 2011, pp. 25-34.

Savino, B.; Teixeira, F. F.; Reis, F. C.; Marques, N. G.; Toloni, T. L. D. (2015) Desenvolvimento da Estrutura de Um Exoesqueleto para Paraplégicos ou Pessoas com Mobilidade Reduzida em Fase de Reabilitação, Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP.

Shirayama, E.; Hidani, R. Y.; Alonso, R. N.; Boari, V. H. (2014) “Exoesqueleto para Auxiliar a Reabilitação Muscular Humana”, Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul.