

FISIOWAY: DESENVOLVIMENTO DOS SISTEMAS DE GERENCIAMENTO E CONTROLE ROBOTIZADO

Yuri Adan Gonçalves Cordovil^{1*}, Maia, Renato Dourado²

¹Acadêmico do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Faculdade de Ciência e Tecnologia - FACIT, ²Doutor em Engenharia, Professor da Faculdade de Ciência e Tecnologia - FACIT

*adan_cks@hotmail.com

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma máquina/equipamento atuante na área de reabilitação de membros inferiores provenientes de lesões ocorridas abaixo da vértebra C8, demonstrando objetivamente, fases do estudo, desenvolvimento, componentes empregados e resultados, abordando cada item, ilustrando sua contribuição e relevância para a forma ao qual foi desenvolvido o projeto.

Palavras-chave: Máquina. Reabilitação. Vértebra.

1. Introdução

Com o constante desenvolvimento de tecnologia, a engenharia cada vez mais se torna multidisciplinar em sua área de atuação, métodos que tornam possível alcançar resultados complexos para o desenvolvimento manual humano são possíveis apenas por meio do advento de tecnologias, as quais manualmente assistidas ou completamente automáticas retornam resultados para análise ou comprovação da eficácia do processo auxiliado.

Com atuação inteiramente no potencial multidisciplinar, a engenharia com ênfase em controle e automação de processos para o desenvolvimento de uma máquina de auxílio na reabilitação de membros inferiores tem por objetivo explorar o seu potencial sobre o movimento fundamental humano de marcha. Esse tipo de máquina deve considerar a complexidade, velocidade e sincronismo de movimento e tentar reproduzi-lo apropriadamente por intermédio de pernas robotizadas em uma estrutura física metálica de suporte vertical ao paciente. Esse tipo de tratamento atua não apenas na reabilitação motora de membros inferiores, mas também na autoestima do usuário, posto que ele, ao executar o tratamento suspenso verticalmente, estando de pé e caminhando como se não tivesse dificuldades motoras, certamente terá um aumento de motivação para a continuidade do tratamento, o que promove maior probabilidade

de uma real perspectiva de reabilitação completa.

Neste projeto, foi realizado o estudo e desenvolvimento do equipamento de reabilitação no modelo de órtese, tendo sido considerados os requisitos técnicos, com exploração da engenharia empregada desde o início do estudo até ao total construção do equipamento – um protótipo cujo funcionamento é eficaz para atestar a viabilidade do projeto e permitir a análise de propostas para otimizar o equipamento.

Pacientes portadores de Lesão Medular são classificados dentro de dois esquemas básicos. Tecnicamente, uma pessoa é considerada quadriplégica quando existe evidência da perda funcional motora e sensitiva acima ou ao nível neurológico da vértebra C8, como demonstração desta perda em extremidade superior. A paraplegia é descrita como perda funcional abaixo do nível de C8 e representa uma faixa extensa de disfunções neuromusculares.

Também em termos menos técnicos, são conhecidas como lesão medular completa (quadriplégica, assistetraplegia completa) e lesão medular incompleta (paraplegia, tetraplegia incompleta). Essas classificações podem ser visualizadas na Figura 1.

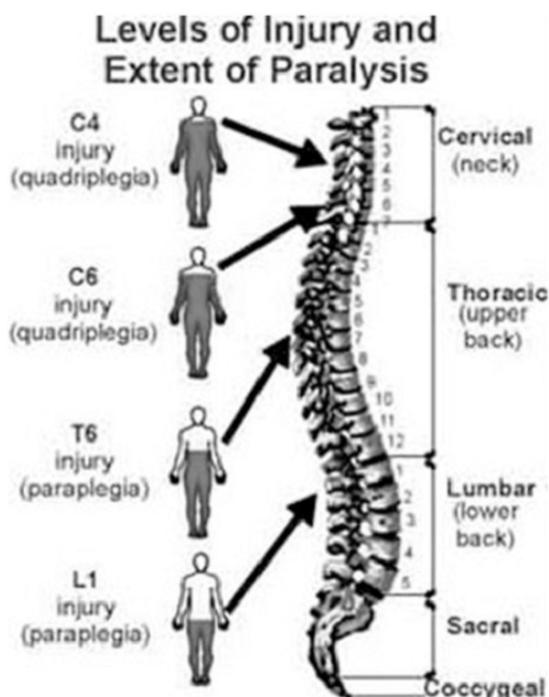


FIGURA 1 - Classificação de tetraplegias
Fonte: fisioterapiamazonas.blogspot.com.br

Classifica-se de **tetraplegia completa** quando há comprometimento total dos quatro membros e/ou da respiração com secção total da medula, isto é, a comunicação entre o cérebro e as outras partes do corpo fica interrompida abaixo do nível da lesão. Não há movimentos e sensações nos quatro membros e não há função motora ou sensitiva preservada no segmento sacral (GARCIA, 2009).

Na **tetraplegia incompleta** a medula espinhal é parcialmente lesionada, preservando-se algumas sensações e movimentos no segmento sacral, ou seja, quando existe contração voluntária da musculatura do esfíncter (GARCIA, 2009).

A Reabilitação é um processo dinâmico, orientado para a saúde, que auxilia um indivíduo que está enfermo ou incapacitado a atingir seu maior nível possível de funcionamento físico, mental, espiritual, social e econômico. O processo de Reabilitação ajuda a pessoa a atingir uma aceitável qualidade de vida com dignidade, autoestima e independência (BRUNNER, 1993).

Uma das características mais importantes do homem é o fato de sua marcha ser bípede, característica que o diferencia de vários outros animais.

Essa marcha é realizada por uma série de movimentos e, por mais simples que pareça ser, é um processo biomecânico complexo, que relaciona forças com controles neuronais com o intuito de transportar seu corpo de um lugar para outro (LARANJEIRA; SANTOS, 2009).

A locomoção humana está totalmente interligada à definição que caracteriza o movimento do corpo pelos espaços aquático, aéreo e terrestre. Ela é possível por meio da sincronia e coordenação de segmentos corporais.

A marcha pode ser descrita como um "projetar" do corpo no sentido de translação como um todo, caracterizado por movimentos de rotação dos segmentos coordenados corporais. A marcha normal é rítmica e é caracterizada pela alternância entre movimentos propulsivos e retropulsivos das extremidades inferiores (NORKIN, 1992).

Pacientes que possuem lesão vertebro-medular necessitam de um treinamento de marcha para auxílio em seu tratamento de recuperação fisiológica. Treinamentos em solo tornam-se muito complicados por serem de difícil controle de velocidade. Como o controle de velocidade é um aspecto fundamental para o alcance de efeitos neurofisiológicos, faz-se necessário um sistema capaz de fornecer suporte corporal para que aconteça a sustentação do corpo do paciente. O suporte, no entanto, não deve comportar o peso total do paciente, pois é de grande importância para o tratamento que o peso possa ser gerenciado de forma a permitir que o paciente consiga suportar percentuais de seu próprio peso à medida que o tratamento avança. Esse tipo de treinamento é realizado com o paciente pendurado por um sistema de suspensão e posicionado sobre um tapete rolante, de modo cada movimento dos membros inferiores é supervisionado por dois ou mais fisioterapeutas

2. Metodologia

2.1. Equipamentos

2.1.1. Arduino MEGA

O microcontrolador da família de placas comumente conhecidas como "arduino", especificamente o modelo arduino MEGA de

micro ATMEGA 2560, realizará o controle local dos sistemas funcionais do aparelho, de forma a atuar com suas portas de saída e entrada analógicas e digitais, realizando funções previamente programadas.

2.1.2. Esteira Ergométrica

A esteira de modelo Caloi Elite cle 50, de motor 90vcc e 5mhp, será responsável por reproduzir a função do solo no movimento de caminhar, ao sincronizar seu movimento de acordo com cada passo realizado pelo usuário.

2.1.3. Célula de Carga

Responsável por fornecer peso do usuário por meio de monitoramento em tempo real, porta-se como sensoriamento local que realiza a coleta de dados relevantes para determinadas funções do aparelho. A célula utilizada para atender as especificações do projeto foi a SV200 R13 264 da empresa ALFA INSTRUMENTOS.

2.1.4. TCRT 5000

Por possuírem modelo de trabalho ideal ao sistema, o qual realiza sensoriamento por meio de reflexão de seu raio emissor infravermelho para um *led receptor*, os sensores *infravermelhos* conseguem acompanhar a dinâmica do sistema de movimento, sem ter a necessidade de contato com a estrutura metálica do equipamento, o que acarretaria prováveis danos por contato contínuo durante alguns minutos de trabalho de rotação dos motores em função da robustez do movimento do sistema de marcha robotizada.

2.1.5. Fonte de Alimentação

Deverá ser usada fonte ou fontes de alimentação *Switching Power Supply* que serão especificadas de acordo com os testes de funcionamento dos motores alimentados. No entanto, é possível afirmar que suas características precisam atender as propriedades de dreno de energia de cada subsistema mecanizado, o que torna necessário cerca de 72Vcc e 14,6A para os motores do quadril e 48Vcc e 10A para motores da articulação dos joelhos.

2.1.6. Motor de Passo

Motores de passo são muito utilizados em aplicações robóticas, nas quais é necessário um grande grau de precisão de posicionamento. Por isso, serão utilizados quatro motores de passo, especificados principalmente pela sua capacidade de torque, extremamente necessário para o projeto.

Serão utilizados os motores do tipo AK85H8/3.36-1.8° e AK85HY/5.88-1.8°, especificamente dois de cada modelo para proporcionar o movimento de precisão, ao simular o flexionar e estender de cada articulação principal de movimento de marcha. As características, de funcionamento desses motores podem ser facilmente encontradas em seus respectivos manuais fornecidos pela fabricante NEOYAMA.

2.1.7. Drivers de Controle

Para o correto funcionamento e gerenciamento de energia para os motores de passo, foi necessária a aquisição de *drivers* controladores responsáveis pelas correntes e tensões corretas para cada motor de passo, também especificados pela fabricante dos motores NEOYAMA., Foi feita a aquisição dos drivers AKDMP16-4.2A e AKDMP16-7.2A que possuem características de trabalho ideais para o processo em questão.

2.1.8. Computador

O computador será responsável pela aplicação do *software* de gerenciamento em alto nível, desenvolvido em linguagem C#, que realizará o gerenciamento das funções do aparelho em um modelo de sistema *multi-threaded*, duas programações serão empregadas no controle do equipamento, uma em baixo nível, embarcada no arduino MEGA, que fará o controle local, e uma em alto nível que fará o gerenciamento remoto responsável por direcionar comandos e exibir estados, bem como variáveis recebidas do monitoramento local do aparelho.

2.1.9. Guincho Elétrico

O guincho elétrico deverá ser especificado de acordo com o peso máximo suportado por ele, e terá a função de regulagem de altura do paciente ao ajuste no equipamento, de forma a

suportar o peso do usuário no processo de elevação ou rebaixamento. Portanto é um elemento de grande importância para prover o ajuste correto e eficiência no tratamento de marcha robotizada.

2.1.10. Estrutura Física

A estrutura física do projeto foi construída toda em aço inox e metalon, tendo sido regida e projetada utilizando *software* de modelagem tridimensional Solidworks® (Figura 2). Foi confeccionada e pintada de cor preta para ajuda no cuidado da estrutura e já com algumas modificações geradas pela fixação de componentes de montagem, como suporte de encosto para pernas e cabos elétricos para energização de motores (Figura 3).



FIGURA 2 - Projeto Solidworks®
Fonte : Coletânea do autor.



FIGURA 3 - Estrutura Física
Fonte : Coletânea do autor.

3. Resultados e Discussão

3.1. Funcionamento Mecânico

O sistema mecânico pode ser evidenciado como peça chave no funcionamento do sistema, pois ele é responsável por simular a dinâmica de movimento da marcha humana (Figura 4).

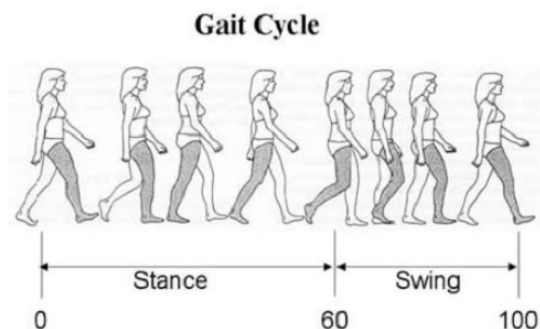


FIGURA 4 - Marcha Humana
Fonte : Coletânea do autor.

O posicionamento dos motores na estrutura (Figura 5) evidenciou grande desvantagem mecânica, de forma que se encontram perpendiculares ao eixo dos motores de passo, em uma dinâmica de movimento de alavanca, que faz com que a rotação do motor impulse um deslocamento similar ao sistema de movimento de um trem, gerando carga elevada no sentido contrário à rotação causando perda de torque.

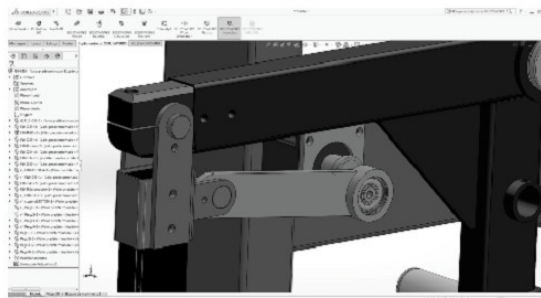


FIGURA 5 - Posicionamento Motor
Fonte: Coletânea do autor.

A estrutura metálica, baseada em metalon e aço, mostrou-se eficaz no quesito firmeza, confiabilidade de aplicação e sustento de carga sem deformidade. Porém, seu peso e rigidez proporcionaram pouca mobilidade, um quesito a ser otimizado em possíveis versões comerciais. Para comprovação desta análise, foi

realizada, no *software Solidworks®*, uma dinâmica estática de simulação de carga em um modelo de bloco (Figura 6), apenas para análise do comportamento do material e fornecimento de comprovação da hipótese.

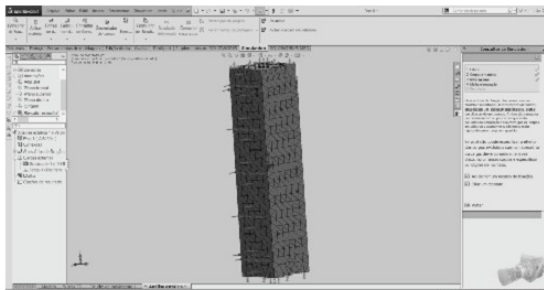


FIGURA 6 - Análise Estática AISI304
Fonte: Coletânea do autor.

É importante analisar que a estrutura simulada foi caracterizada em disposição de malhas, fornecendo um melhor resultado de cálculo em cada nó, o que torna o resultado confiável, como pode ser observado na Figura 7, que apresenta 4 gráficos de comportamento do material em relação a fatores específicos em cada modelo.

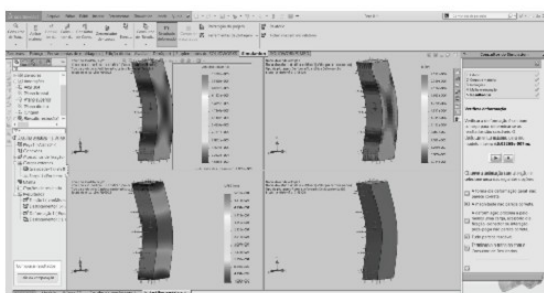


FIGURA 7 - Simulação
Fonte: Coletânea do autor.

É possível observar na Figura 7, quatro gráficos de análises de carga, onde é vista uma flambagem no centro da peça.

3.2. Motores

Os motores de passo são muito importantes no projeto, pois são responsáveis por gerar o movimento que atua sobre as articulações em cada perna e, realizar a marcha robotizada.

Eles oferecem torque e controle de posição por intermédio de energização de

bobinas internas, sendo importante atentar sempre para as suas características de funcionamento torque \times velocidade.

Os motores de passo mostraram-se eficientes à primeira vista, se levado em consideração seu funcionamento básico em relação a nossos testes de simulação física de carga.

Foi observado o comportamento do motor e visualização da necessidade de um funcionamento restrito para uso de velocidade e torque, minuciosamente configurados para que fosse possível se obter equilíbrio na velocidade do movimento de marcha, sem perda de passos por peso excessivo causado pelo peso da perna ao longo do movimento.

Entretanto, apesar dos motores de passo fornecerem um posicionamento preciso de 200 passos por revolução, o seu manuseio causa grande custo para seu uso, já que eles tem a necessidade de componentes extras para seu controle (os chamados *drivers*, que têm a sua característica atuante no controle de energização de bobinas internas dos motores). Assim, quando recebe em sua entrada pulsos variantes de 0 a 5v, ele energiza as bobinas de acordo com os passos determinados por intermédio das chaves de seleção manual encontradas em sua estrutura física, como a configuração de corrente, direção de giro, e estado de ativação ON/OFF. Assim, para redução de custos, a possibilidade de troca de motores de passo por motores DC¹ com caixa de redução é eminente.

Além disso, apesar dos motores conseguirem resultados nos testes, seu funcionamento é extremamente restrito, pois, o torque de 48kgf é local nos quais seja necessária uma marcha mais acelerada, são inviáveis. Entretanto, para modelos de velocidades fixas, com padrões previamente configurados e sem modificações no processo, a resposta foi satisfatória.

3.2. Vibração por Folgas

Durante o período de testes de funcionamento, foi evidente o aparecimento de folgas em meio à estrutura de movimento das pernas. No processo de marcha robotizada, as folgas, atuantes em grande parte no posicionamento das articulações das pernas

¹DC – Direct Current

robotizadas, geravam trepidações e esforços excessivos no movimento de rotação dos motores provocando a perda de passos e dessincronização de movimentos entre a perna direita e esquerda, tornando inviável a continuação dos testes sem ajuste e manutenção de cada perna para limitar ao máximo a atuação de folgas no processo de marcha robotizada, responsáveis por quase 70% dos eventos de travamento durante revoluções.

Com evidências do problema, cada perna foi trabalhada individualmente, com o objetivo de eliminar ao máximo a interferência de folgas, sendo possível a análise gráfica da influência da folga no movimento mecânico antes e depois do processo de manutenção corretiva, realizada diretamente pela mão de obra especializada da empresa parceira no projeto.

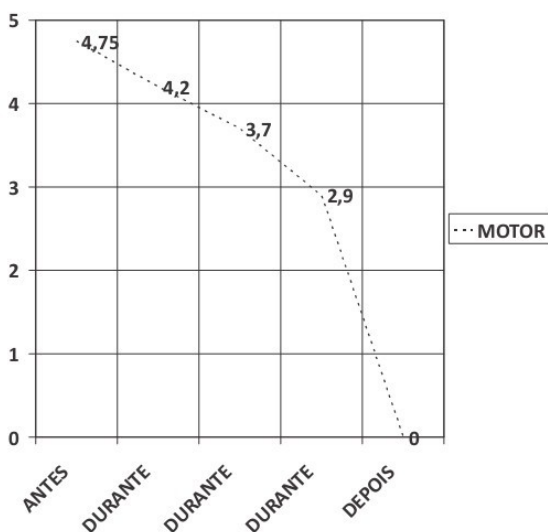


FIGURA 8 - Ocorrência x Tempo
Fonte: Coletânea do autor.

A Figura 8 demonstra a relação entre “travamento” do motor e seu decaimento à medida que se era feito os ajustes de manutenção corretiva em relação às folgas.

3.3. Velocidade de Trabalho

Uma das possibilidades de trabalho do equipamento é a alteração da velocidade no seu modo de trabalho, possibilitando, dessa forma, diferentes opções de tratamento para atuar na reabilitação completa do paciente.

Do mesmo modo que no movimento normal de marcha humano, a alteração de

velocidade é extremamente eficaz por se tratar de uma dinâmica que relaciona diversos tipos de fatores, que por sua vez fortalecem e aperfeiçoam a força nas pernas: assim como um maratonista possui pernas mais fortes devido à sua atividade de percorrer longas distâncias, treinos de resistência, etc., o equipamento espera poder trabalhar a alteração de velocidade de forma dinâmica de acordo com a adaptação e estágio de tratamento do paciente.

Com o desenvolvimento do sistema microcontrolado e por meio de testes de funcionamento, foi possível evidenciar certas limitações dos motores em relação ao movimento variante de velocidade, pois, ao alterar-se velocidade com incremento de intervalo entre pulsos, o motor sofria um arranque grosseiro. Em função disso, foi adotado o método de velocidade de trabalho padrão, com foco inicial na implementação de velocidades que atuem diretamente no funcionamento completo do modelo de trabalho empregado no tratamento do paciente, sendo nomeadas de “velocidade 1 – tratamento moderado”, na qual a velocidade de marcha é de aproximadamente 50% da velocidade de uma pessoa em caminhada normal, e “velocidade 2 – tratamento intenso”, em que a velocidade é de aproximadamente 100% no movimento de caminhada.

4. Considerações Finais

O desenvolvimento e funcionamento do protótipo do equipamento Fisioway, relatados neste trabalho, justificam claramente sua eficiência em seu funcionamento no tratamento de marcha robotizada, atentando-se à fatores como velocidade da marcha, modelo de trabalho sincronizado entre as duas pernas e largura da passada, características de extrema importância no tratamento convencional. O desenvolvimento do equipamento também traz o benefício de fornecer um tratamento intenso e sem interrupções durante um período de tempo pré-determinado, evidenciando as características de uma aplicação robotizada de atuar com um trabalho perfeito e sem cansaço por esforço intenso ou contínuo.

Dessa forma, apesar de seu protótipo ter demonstrado certos pontos carentes de atenção e otimização, o desenvolvimento de um

equipamento, que mesmo sem estar totalmente pronto e otimizado, demonstrou funcionamento mínimo eficaz, é plataforma fundamental de estudo para o possível desenvolvimento de versões posteriores, com esses pontos totalmente otimizados, seja por mudança de componentes, reestruturação do projeto ou desenvolvimento de uma versão totalmente nova.

Agradecimentos

“A todos que colaboraram a pesquisa e permitiram a realização da mesma sem entraves, professores, Orientador e pessoas que acreditaram no potencial deste projeto, um sincero obrigado.”

Referências

BRITES, F., e SANTOS, V. Motor de Passo. Universidade Federal Fluminense-PETele. Niterói, 2008.

Brunner LS, Suddarth DS. *Princípios e práticas de reabilitação*. In: Smeltzer SC, Bare BG. *Brunner & Suddart: tratado de enfermagem médico-cirúrgica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1993. p. 181-207.

Dietz, V & Harkema, S. (2004). *Locomotor activity in spinal cord-injured persons*. *Journal of Applied Physiology*, 96, 1654-1960.

FISIOTERAPIA MANAUS. *Classificação e Terminologia Da Lesão Medular*. Disponível em: <<http://fisioterapiamazonas.blogspot.com.br/2009/05/classificacao-e-terminologia-da-lesao.html>> . Acesso em : 15 mar. 2015.

GARCIA, Vera. *Deficiência Física. Classificação da Lesão Medular*. Disponível em: <<http://www.deficienteciente.com.br/2009/08/paraplegia-e-tetraplegia-parte-2.html>> . Acesso em : 15 mar. 2015.

LARANJEIRA, P. *Efeito do sistema de marcha suspensa robotizada (Lokomat) na marcha de pacientes com lesão vertebro-medular incompleta*. 2009. 162f. Dissertação (Mestrado em Especialização em Desenvolvimento Motor)- Faculdade de Desporto, Universidade do Porto, Portugal. 2009.

NORKIN, C ; LEVANGIE, K. *Joint structure and function. A comprehensive analysis 2th ed.* EUA: Library of Congress.1992,

Abstract: This paperwork presents the development of a machine/equipment, actuating in rehabilitation area of inferiors members from injuries bellow the C8 vertebrae, demon-strating objectively, study phases, development, components used, and results, addressing each item, illustrating its contribution and importance to the form which was developed the project.

Keywords: Machine. Rehabilitation. Vertebrae.