



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica


Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES	
<i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905041	
CAPÍTULO 2	18
DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL	
<i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905042	
CAPÍTULO 3	29
DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO	
<i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905043	
CAPÍTULO 4	38
MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D	
<i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905044	
CAPÍTULO 5	53
ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA	
<i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905045	
CAPÍTULO 6	67
DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS	
<i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i>	

CAPÍTULO 7 80

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

Bruno Barbieri
Vinicius Segalla
Marcio Catapan
Maria Lúcia Okimoto
Isabella Sierra

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

CAPÍTULO 8 91

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

Silas Fernandes Caze
Lucas de Sousa Camelo
Wictor Gomes de Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

CAPÍTULO 9 96

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

Marcos José Mannala
Marlon Elias Marchi
Marcio Tonetti

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

CAPÍTULO 10 103

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

Carlos Henrique da Silva
Felipe Martins Silva
Fernando Luiz Alhem dos Santos
Jardson da Silva David
Juliana Lopes Cardoso
Milton Zanotti Junior

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

CAPÍTULO 11 114

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

Walter dos Santos Sousa
Caroline Moura da Silva
Érika Cristina de Melo Lopes
Gilton Carlos de Andrade Furtado
Lana Ritiele Lopes da Silva
Michele da Costa Baía

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

CAPÍTULO 12	127
CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23	
<i>Luís Henrique da Silva Ignacio</i>	
<i>Fernando Costa Malheiros</i>	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i>	
<i>Henrique Coelho Fernandes</i>	
<i>Gilmar Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050412	
CAPÍTULO 13	135
TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA	
<i>Murilo Antunes Alves Lucindo</i>	
<i>Breno Dantas Santos</i>	
<i>Juliana Sanches da Silva</i>	
<i>Marcos Bruno Santana</i>	
<i>Deovaldo de Moraes Júnior</i>	
<i>Vitor da Silva Rosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050413	
CAPÍTULO 14	147
A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS	
<i>Daniel Alves Ferreira Lemes</i>	
<i>Kennedy Carlos Tolentino Trindade</i>	
<i>Anna Paula Bechepeche</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050414	
CAPÍTULO 15	169
VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO	
<i>Luriane Pamplona dos Santos Barbosa</i>	
<i>Rodrigo de Cássio Vieira da Silva</i>	
<i>Thiago Eymar da Silva Oliveira</i>	
<i>Arielly Assunção Pereira</i>	
<i>Roger Barros da Cruz</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050415	
CAPÍTULO 16	185
MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS	
<i>Isabella Fenner Rondon</i>	
<i>Josivaldo Godoy da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050416	
CAPÍTULO 17	196
ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Vicente Severino Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050417	

CAPÍTULO 18	209
APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Edmar Antônio Onofre</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050418	
CAPÍTULO 19	221
ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE	
<i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i>	
<i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i>	
<i>Luís Felipe Furtado Pontes</i>	
<i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i>	
<i>Lucas Silva Soares</i>	
<i>Marcos Erike Silva Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050419	
CAPÍTULO 20	236
ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL	
<i>Estevão Fuzaro de Almeida</i>	
<i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i>	
<i>Fábio Roberto Chavarette</i>	
<i>Roberto Outa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050420	
CAPÍTULO 21	245
DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR	
<i>Wictor Gomes De Oliveira</i>	
<i>João Paulo Correia Teixeira</i>	
<i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i>	
<i>Tulio Rosine Martins De Souza</i>	
<i>Bruno De Oliveira Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050421	
SOBRE OS ORGANIZADORES	247

DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL

Lucas Antônio Oliveira Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

Rogério Sales Gonçalves

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

João Carlos Mendes Carvalho

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

RESUMO: Este trabalho apresenta um algoritmo desenvolvido para gerar mecanismos de quatro barras funcionais, bem como a aplicação do mesmo para a reabilitação do joelho humano. São abordados os procedimentos computacionais e considerações matemáticas aplicadas no algoritmo, concluindo com a montagem computacional do mecanismo calculado.

PALAVRAS-CHAVE: Mecânica computacional, reabilitação, membro inferior, mecanismos, 4 barras.

RESUMO: Este trabalho apresenta um algoritmo desenvolvido para gerar mecanismos de quatro barras funcionais, bem como a aplicação do mesmo para a reabilitação do joelho humano. São abordados os procedimentos computacionais e considerações matemáticas aplicadas no algoritmo, concluindo com a

montagem computacional do mecanismo calculado.

PALAVRAS-CHAVE: Mecânica computacional, reabilitação, membro inferior, mecanismos, 4 barras.

1 | INTRODUÇÃO

A aplicação de estruturas robóticas e mecanismos conquistou uma importante aplicação no processo de terapia para diversos tipos de pacientes, como as vítimas de Acidente Vascular Cerebral (AVC). O uso destas tecnologias gerou benefícios tais como redução de custos para tratamentos de movimentação e a expansão da gama de possíveis exercícios terapêuticos, o que auxilia pacientes crônicos a melhorar e manter a mobilidade (LUM et al., 2002).

Além disso, sistemas auto-operados são capazes de gerar efeitos positivos no tratamento de lesões. Um estudo evidencia que o uso deste tipo de dispositivo trouxe benefícios funcionais aos pacientes, bem como um benefício psicossocial, uma vez que, ao manterem sua mobilidade, estes podem manter suas atividades com maior autonomia e independência (BATENI; MAKI, 2005)excluding articles unrelated to mobility aids. Bibliographies

were reviewed and ISI Web of Science citation searches were run to identify additional references. Over 1000 articles were selected for further evaluation. We extracted all studies of single-tip canes or pickup walkers addressing: (1.

A proposição de um mecanismo não motorizado auto-operado por um paciente, além de contribuir clinicamente para seu processo de reabilitação dos movimentos da perna através de exercícios ativamente assistidos, contribui para que este tipo de dispositivo torne-se um facilitador da reorganização das atividades funcionais básicas do usuário, assim como uma cadeira de rodas (COSTA et al., 2010).

Há ainda evidências clínicas que o treinamento ativamente assistido pode gerar redução significativa ao dano causado à movimentação do membro conforme estudo realizado em 100 pacientes de AVC agudo (FEYS et al., 1998).

2 | ESTRUTURAS PARA REABILITAÇÃO

Alguns exemplos de aplicações de estruturas robóticas ilustram o engajamento deste ramo da engenharia nos processos de reabilitação conforme apresentado acima. A seguir, foram selecionados sistemas distintos afim de demonstrar a variedade presente nesta área.

Uma das estruturas mais conhecidas para reabilitação do membro inferior é a chamada LOKOMAT (JEZERNIK; COLOMBO; MORARI, 2004), ilustrada na Fig. 1, a qual caracteriza-se pelo uso de atuadores associados às pernas do paciente e uma esteira auxiliar. O uso de esteiras na fisioterapia de pacientes é uma prática tradicional para a reabilitação da marcha humana (WERNIG et al., 1995).

A partir deste princípio, várias estruturas robóticas que utilizam esteiras e exoesqueletos para auxiliar a movimentação dos pacientes foram desenvolvidas com o objetivo de diminuir o uso de recursos humanos para a execução dos exercícios (GALVEZ; REINKENSMEYER, 2005).

Exemplificam-se também as estruturas desenvolvidas sem o uso de esteiras, as quais visam possibilitar aos pacientes movimentar-se em espaço livre, bem como promover independência funcional.

Este é o caso da estrutura conhecida como ReWalk, proposta pela ARGO (GOFFER, 2006) e aprovada para uso comercial nos Estados Unidos. Esta consiste em um exoesqueleto que possui um sistema de braços mecânicos associado a ambas as pernas do usuário, os quais integram motores DC, sensores de movimento e baterias recarregáveis. Basicamente, o sistema monitora os movimentos superiores do corpo e aciona os motores DC de forma a manter a marcha de acordo com o desejado pelo usuário. O sistema é apresentado na Fig. 2.



Figura 1: Paciente utilizando o LOKOMAT (Jezernik, Colombo e Morari, 2004).



Figura 2: Modelo ilustrativo para a estrutura ReWalk (Goffer,2006).

Há ainda exemplos de estruturas cuja movimentação é trabalhada de forma isolada, onde o paciente exercita o membro sob uma plataforma fixa de tal modo que a estrutura é capaz de mover livremente a perna em terapia.

A estrutura denominada *Physiotherabot* (AKDOĞAN; ADLI, 2011) *stroke, muscle disorder, or a surgical operation. In order to control this robot, a "Human-Machine Interface" with a rule-based control structure was developed. The robot manipulator (RM,* constitui um exemplo clássico para este tipo de equipamento. Esta é composta por uma maca adaptada, podendo manter o paciente sentado ou deitado, e possui três atuadores dispostos conforme apresentado na Fig. 3.

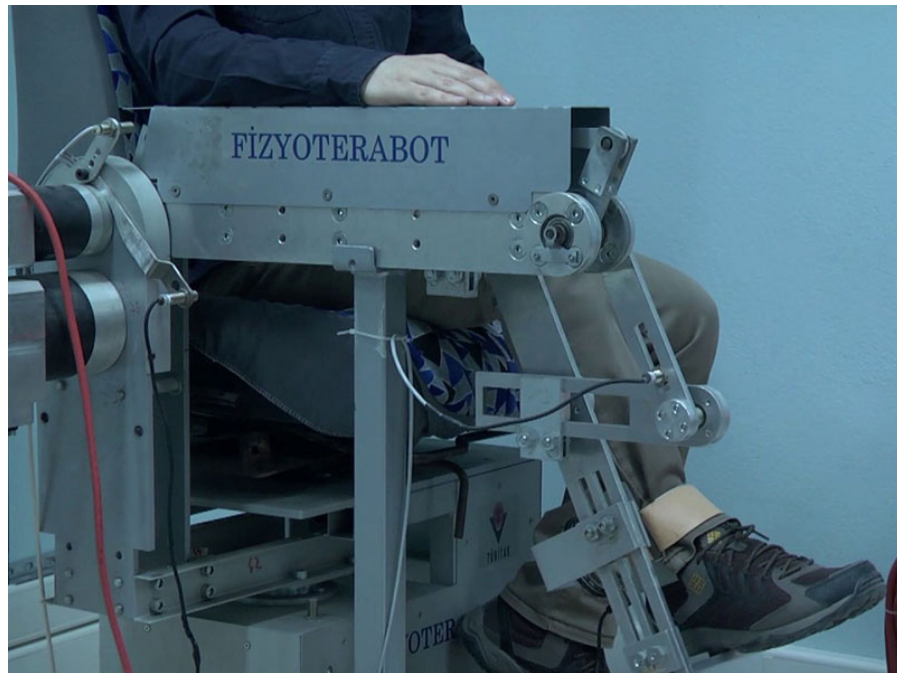


Figura 3: foto de uma paciente utilizando o *Physioterabot* (Akdogan e Adli, 2011).

3 | FLEXÃO-EXTENSÃO DO JOELHO

O joelho é a junta intermediária do membro inferior, sendo uma articulação com 1 grau de liberdade (flexão/extensão), que permite regular a distância do corpo em relação ao chão. A articulação do joelho, contudo, possui um segundo grau de liberdade (rotação sobre o eixo longitudinal da perna) o qual só existe quando o mesmo está flexionado, o qual não será abordado no mecanismo a ser proposto (KAPANDJI, 2000)

Na Figura 4 estão indicados os eixos de referência utilizados para descrever os movimentos que ocorrem no joelho.

O movimento de flexão-extensão é o principal movimento do joelho, sendo que sua amplitude é medida a partir da posição de referência definida a partir do eixo da perna que se situa no prolongamento do eixo da coxa, indicado como eixo ZZ', Fig. 5.

A extensão do joelho é definida como o afastamento da face posterior da perna da face posterior da coxa (KAPANDJI, 2000). Este movimento ocorre principalmente de forma passiva, variando de 5° a 10° a partir da posição de referência, Fig. 6 (c).

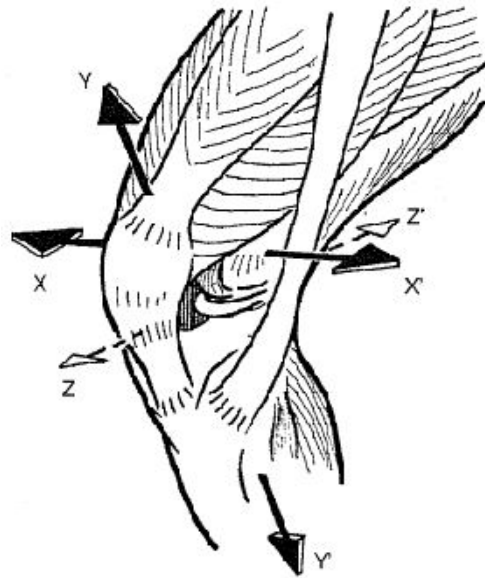


Figura 4: Eixos de referência para parametrização dos movimentos do joelho (KAPANDJI, 2000).

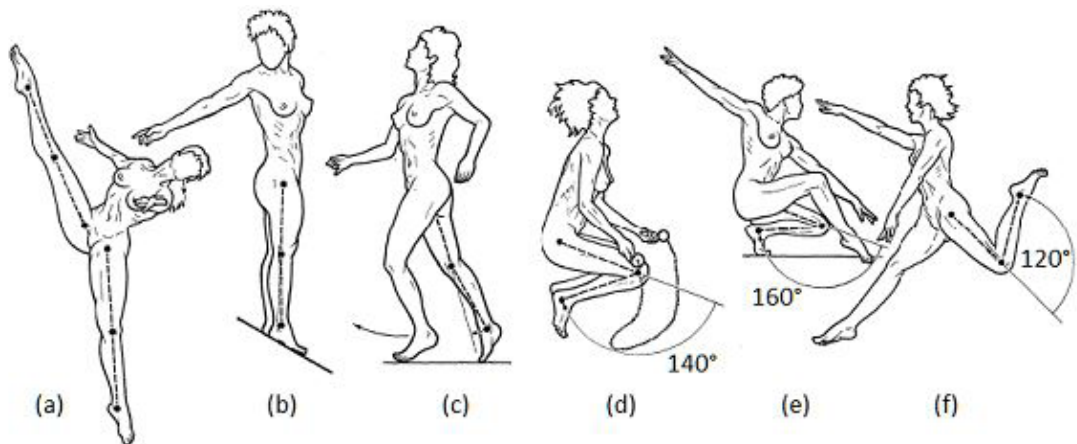


Figura 5: Movimentos de flexão do joelho (KAPANDJI,2000).

Para a flexão do joelho, distingue-se também as amplitudes ativas e passivas deste movimento. A flexão de forma ativa atinge 140° caso o quadril se encontre previamente flexionado, Fig. 5(d), e pode chegar a 120° somente se o quadril estiver em extensão, 5(f).

A flexão passiva pode chegar a uma amplitude de 160° , Fig. 5(e), o que torna o calcanhar capaz de tocar a nádega nesta situação.

4 | MODELAGEM MATEMÁTICA DA ESTRUTURA

Uma vez definido o movimento da articulação a ser trabalhada, define-se então a metodologia selecionada para gerar o modelo matemático da estrutura desejada. O mecanismo a ser desenvolvido será um mecanismo de quatro barras, do tipo manivela-balancim, para transformar uma entrada angular contínua em uma saída angular

oscilatória.

O mecanismo gerado será uma estrutura de base estacionária e trabalhará com a movimentação da perna a partir de uma manivela a ser acionada pelo próprio paciente utilizando as mãos.

4.1 Comprimento das barras

Selecionou-se, então, utilizar a metodologia proposta por Rezende et al. (2010) para se obter os comprimentos de cada barra do mecanismo afim de se obter as saídas angulares desejadas, bem como as tensões geradas pela montagem selecionada. Neste método, considera-se um sistema composto por barras ideais, de massa desprezível e sem efeito de atritos e/ou folgas nas conexões entre os elementos.

Os métodos apresentados adiante utilização como referência a nomenclatura tradicional para análise cinemática de mecanismos de quatro barras, a qual é ilustrada na Fig. 6 abaixo.

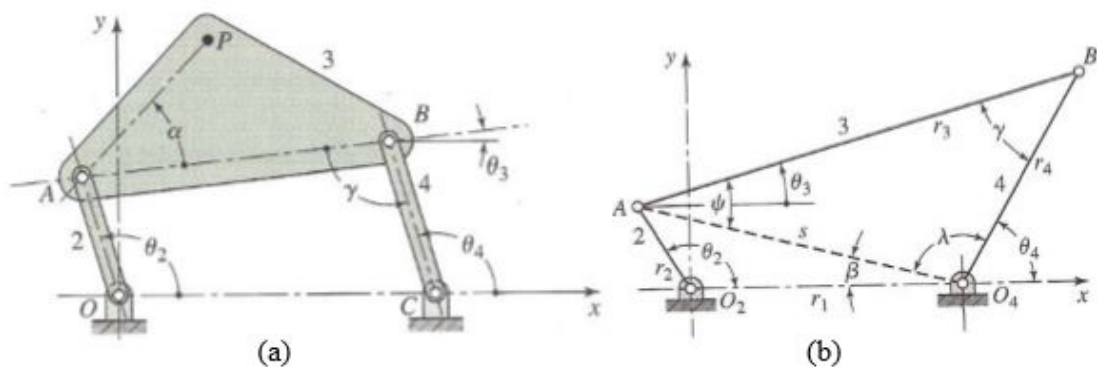


Figura 6: Referência utilizada para os parâmetros de mecanismos de quatro barras (REZENDE et al., 2010)

A posição do ponto de interesse P pode ser calculada utilizando uma abordagem geométrica para a determinação conforme ilustrado na Fig. 6(b). Utiliza-se uma barra imaginária S de ligação entre os pontos A e O_4 como recurso geométrico para auxiliar o cálculo dos parâmetros de interesse. A partir dos comprimentos das barras R_1 a R_5 e dos ângulos indicados como θ_2 e α , os valores de S e dos ângulos θ_3 , θ_4 , β , γ , ϕ podem ser obtidos por meio das Eq. (1) a (5) (UICKER et al., 2003).

$$S = (R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos \theta_2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\beta = \cos^{-1}[(R_1^2 - R_2^2 + S^2)/(2SR_1)] \quad (2)$$

$$\phi = \cos^{-1}[(R_3^2 - R_4^2 + S^2)/(2SR_3)] \quad (3)$$

$$\lambda = \cos^{-1}[(R_4^2 - R_3^2 + S^2)/(2SR_4)] \quad (4)$$

$$\gamma = \pm \cos^{-1}[(R_4^2 - S^2 + R_3^2)/(2R_3R_4)] \quad (5)$$

Na Figura 7 é apresentado um diagrama de corpo livre generalizado de um mecanismo de quatro barras, o qual pode ser utilizado para se obter as equações de equilíbrio em x e y, as quais podem ser combinadas para gerar a matriz dinâmica do sistema, Fig. 8, sob a qual é possível obter os esforços aplicados em cada barra, e que serão considerados no algoritmo adiante.

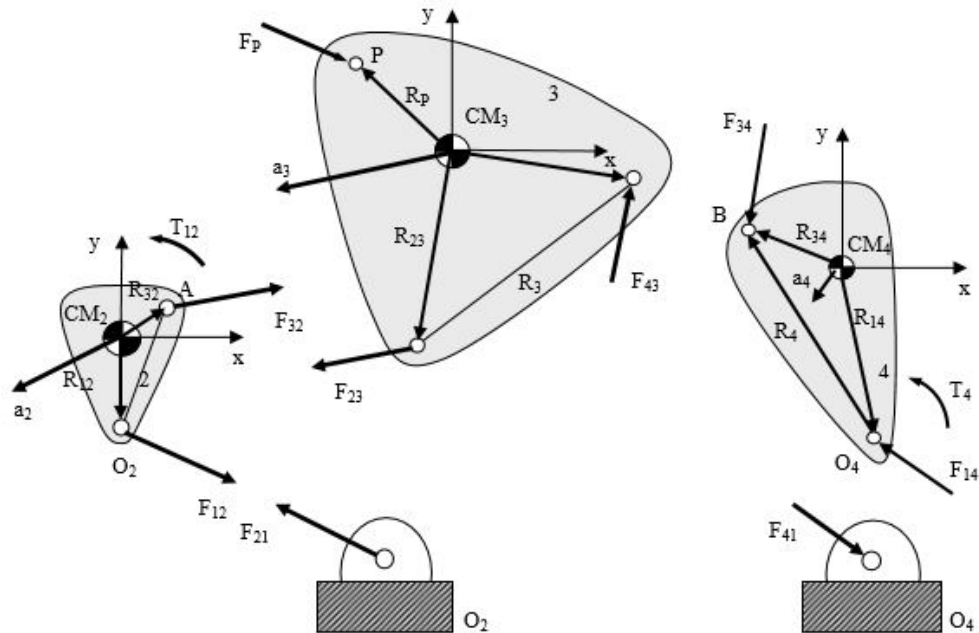


Figura 7: Aplicação do diagrama de corpo livre para o mecanismo de quatro barras.

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -R_{12y} & R_{12x} & -R_{32y} & R_{32x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & R_{23y} & -R_{23x} & -R_{43y} & R_{43x} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & R_{34y} & -R_{34x} & -R_{14y} & R_{14x} & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 F_{12x} \\
 F_{12y} \\
 F_{32x} \\
 F_{32y} \\
 F_{43x} \\
 F_{43y} \\
 F_{14x} \\
 F_{14y} \\
 T_{12}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 m_2 a_{2x} \\
 m_2 a_{2y} \\
 I_{CM2} \alpha_2 \\
 m_3 a_{3x} - F_{Px} \\
 m_3 a_{3y} - F_{Py} \\
 I_{CM3} \alpha_3 - R_{Px} F_{Py} + R_{Py} F_{Px} \\
 m_4 a_{4x} \\
 m_4 a_{4y} \\
 I_{CM4} \alpha_4 - T_4
 \end{bmatrix}$$

Figura 8: Matriz dinâmica para o mecanismo de quatro barras.

4.2 Análise de singularidades

Para garantir o correto funcionamento de um mecanismo, é de suma importância a realização de uma análise de mobilidade e de possíveis posições de singularidade. Para determinar as possíveis posições de singularidade em mecanismos de cadeia cinemática fechada, será utilizada uma metodologia baseada nas relações da matriz geométrica do sistema, e do problema de autovalores gerado à partir desta (ALTUZARRA et al., 2004, 2006; HERNÁNDEZ et al., 2003).

Para aplicar a metodologia proposta, é necessário inicialmente obter a matriz geométrica do sistema. Primeiramente, aplica-se a Eq. (6) para cada elemento do

mecanismo proposto, utilizando as velocidades nodais $\{\dot{x}_e\}$, resultando na matriz geométrica elementar $[G_e]$.

$$[G_e]\{\dot{x}_e\} = 0 \quad (6)$$

O ponto mais importante da metodologia de Altuzarra et al. (2004) consiste na análise do problema de autovalores obtido através da matriz geométrica do sistema, conforme descrito na Eq. (7). A dimensão F da matriz quadrada $[G]$ obtida corresponde ao grau de liberdade do mecanismo no instante de tempo analisado. O procedimento gera $\{v_i\}$ autovetores e D autovalores, os quais serão utilizados nos procedimentos descritos à seguir para determinar a existência, onde e qual o tipo das singularidades do mecanismo analisado (ALTUZARRA et al., 2004, 2006; HERNÁNDEZ et al., 2003).

$$[G]\{\dot{x}\} = \lambda\{\dot{x}\} \quad (7)$$

Os L autovetores $\{v_i\}$ que correspondem aos autovalores λ nulos compõem vetores linearmente independentes que descrevem os possíveis movimentos do mecanismo. O número de autovalores deve ser igual ao número de graus de liberdade em todas as posições para que a montagem não seja singular.

Além disso, as matrizes formadas pelos autovalores de entradas e saídas do sistema devem possuir posto matricial igual ou número de cada, respectivamente. Caso contrário, isso indicará dependências na entrada ou saída do mecanismo, caracterizando posição de singularidade.

5 | ESTRUTURA GERADA E RESULTADOS

O mecanismo proposto será gerado com o auxílio de um algoritmo de evolução diferencial, o qual possui os mesmos princípios dos algoritmos genéticos tradicionais. Este será implementado utilizando o software MATLAB®.

Os parâmetros de entrada do algoritmo foram os limites inferior e superior para o comprimento de cada uma das barras do mecanismo, os quais foram baseados nas dimensões de um boneco antropomórfico de 1,80 m de altura, utilizado para testes em estruturas de reabilitação no Laboratório de Automação e Robótica da Universidade Federal de Uberlândia. O material a ser aplicado no mecanismo será alumínio e o mesmo será construído utilizando um perfil retangular com 3 mm de espessura.

As restrições aplicadas no algoritmo para escolha da solução ótima consistem nas limitações geométricas descritas nas equações (1) a (5) de forma a garantir que a saída angular do mecanismo seja próxima a amplitude da flexão do joelho, eliminar ângulos com parte imaginária e garantir que o ângulo λ possua uma faixa operacional funcional.

Para garantir a ausência de singularidades, utiliza-se os parâmetros obtidos através do problema de autovalores da Eq. (7) para gerar as restrições necessárias.

As tensões geradas pelas reações calculadas na matriz dinâmica são utilizadas nas restrições de desigualdades, comparando-as com os limites admissíveis para o alumínio para garantir que a estrutura irá suportar as tensões submetidas em todas as posições exploradas pelo mecanismo.

Por fim, utilizou-se uma população inicial de 50 indivíduos, número máximo de interações igual a 200, taxa de perturbação igual a 0,5 e probabilidade de reprodução igual a 0,8. Os melhores resultados obtidos através da execução do algoritmo estão apresentadas na Tab.1.

	Parâmetro	Mínimo [mm]	Máximo [mm]	Selecionado [mm]
Joelho	R_1	150	400	280
	R_2	100	400	140
	R_3	150	400	263
	R_4	150	400	162
	$\Delta\theta_4$ (ângulo de saída)		120°	

Tabela 1: Parâmetros utilizados para encontrar os comprimentos das barras, e ângulo de saída selecionados

Uma vez obtido os comprimentos para as barras, gerou-se uma simulação ponto a ponto para checar a fidelidade da saída angular do mecanismo obtido com o solicitado. o resultado é apresentado na Fig. 9. Observa-se através deste gráfico que a amplitude de saída se aproxima da amplitude da flexão ativa do joelho, conforme esperado.

Após a validação matemática do mecanismo gerado, o próximo passo consiste em gerar o modelo tridimensional. Este foi gerado utilizando o software para CAD SolidWorks®.

Para transmitir o torque até a barra , adicionou-se ao mecanismo proposto um sistema de transmissão por polias sincronizadas, as quais são conectadas e levadas até o alcance das mãos do usuário através de uma barra auxiliar.

A polia conduzida se conecta com a barra através de um eixo comum. A polia condutora está ligada a outra manivela a qual será acionada manualmente pelo paciente. A correia dentada selecionada para o sistema é do tipo GT2 8 mm, devido as baixas tensões solicitadas no sistema e ao baixo custo.

Todas as características de construção citadas, bem como uma sequência de movimentação representando o funcionamento final do mecanismo, são ilustradas na Fig. 10, obtida através do modelo tridimensional construído.

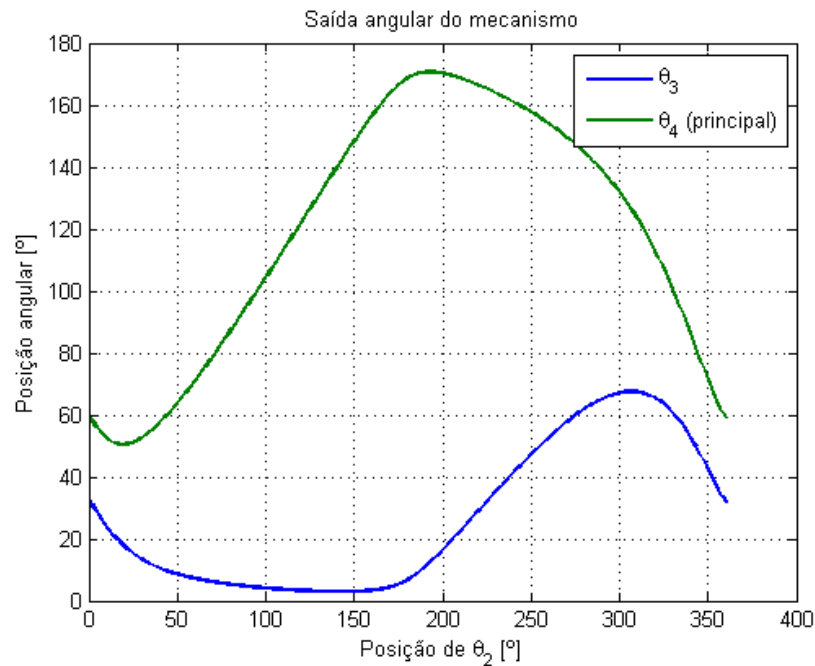


Figura 9: Saída angular do mecanismo obtido pelo algoritmo gerado.

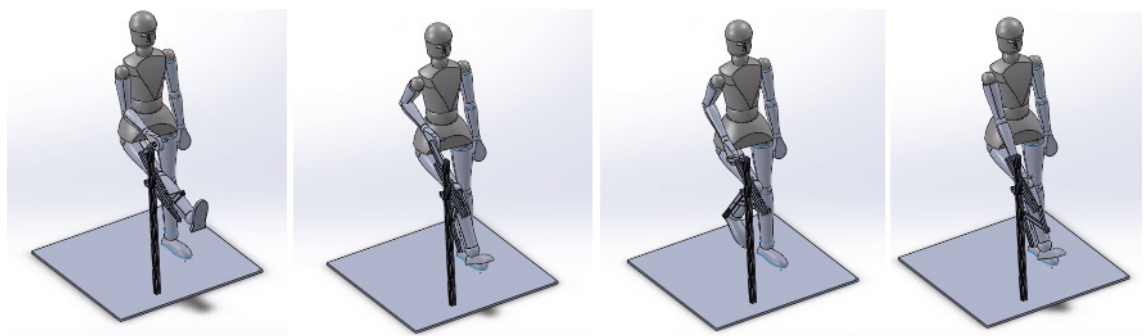


Figura 10: sequência de movimentação gerada a partir do tridimensional construído para o mecanismo de reabilitação do joelho.

6 | CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos das simulações e da movimentação do modelo obtido da estrutura para o joelho, observa-se uma boa adaptação do mesmo a flexão ativa do joelho, o que evidencia a capacidade do projeto proposto de gerar exercícios efetivos para um processo de reabilitação.

A construção de um protótipo em tamanho real para testes experimentais com um boneco de testes, bem como a expansão desta metodologia para gerar mecanismos de reabilitação para as demais articulações do membro inferior, estão previstas para a continuação deste projeto.

7 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) e ao Dr. João Gabriel Oliveira de Miranda pelo apoio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

- AKDOĞAN, E.; ADLI, M. A. The design and control of a therapeutic exercise robot for lower limb rehabilitation: Physiotherobot. **Mechatronics**, v. 21, n. 3, p. 509–522, 2011.
- ALTUZARRA, O. et al. A practical procedure to analyze singular configurations in closed kinematic chains. **IEEE Transactions on Robotics**, v. 20, n. 6, p. 929–940, 2004.
- ALTUZARRA, O. et al. Point-based Jacobian formulation for computational kinematics of manipulators. **Mechanism and Machine Theory**, v. 41, n. 12, p. 1407–1423, 2006.
- BATENI, H.; MAKI, B. E. **Assistive devices for balance and mobility: Benefits, demands, and adverse consequences** *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2005. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15641004?report=docsum>>
- COSTA, P. et al. Representações sociais da cadeira de rodas para a pessoa. **Rev Lat Am Enfermagem**, v. 18, n. 4, p. 1–8, 2010.
- FEYS, H. M. et al. Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: a single-blind, randomized, controlled multicenter trial. **Stroke (00392499)**, 1998.
- GALVEZ, J. A.; REINKENSMEYER, D. J. Robotics for gait training after spinal cord injury. **Topics in Spinal Cord Injury ...**, v. 11, n. 2, p. 18–33, 2005.
- GOFFER, A. **Gait-locomotor apparatus**, 2006.
- HERNÁNDEZ, A. et al. Kinematic analysis of mechanisms via a velocity equation based in a geometric matrix. **Mechanism and Machine Theory**, v. 38, n. 12, p. 1413–1429, 2003.
- JEZERNIK, S.; COLOMBO, G.; MORARI, M. Automatic gait-pattern adaptation algorithms for rehabilitation with a 4-DOF robotic orthosis. **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, v. 20, n. 3, p. 574–582, 2004.
- KAPANDJI, A. **Fisiologia articular**. 5. ed. [s.l.] Editorial Médica Panamericana S.A., 2000.
- LUM, P. et al. Robotic Devices for Movement Therapy After Stroke: Current Status and Challenges to Clinical Acceptance. **Topics in Stroke Rehabilitation**, v. 8, n. 4, p. 40–53, 2002.
- REZENDE, O. P. DE et al. **Análise Dinâmica Computacional de Mecanismos de 4 Barras**. Nono Simpósio de Mecânica Computacional. **Anais...**São João Del-Rei: 2010
- UICKER, J. J. et al. **Theory of Machines and Mechanisms** *Journal of Mechanical Design* Oxford Press, , 2003.
- WERNIG, A. et al. **Corrigendum: Laufband therapy based on “rules of spinal locomotion” is effective in spinal cord injured persons (European Journal of Neuroscience (1995) 7 (823-829))** *European Journal of Neuroscience*, 1995.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-246-3

