

SIMULAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UM MODELO EM ESCALA REDUZIDA DO MECANISMO DE JANSEN

Cássio Bruno Florêncio Gomes, e-mail¹ cassio.bruno@discente.ufma.br

Mateus Felipe Benicio Moraes, e-mail¹ mfb.moraes@discente.ufma.br

Dalmo Inacio Galdez Costa, e-mail¹ dalmo.costa@ufma.br

Elson Cesar Moraes, e-mail¹ elson.cm@ufma.br

¹Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Engenharia Mecânica, Cidade Universitária Dom Delgado, 65085-580, São Luís, Maranhão, Brasil

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo do mecanismo de Jansen em escala reduzida. O mecanismo escolhido trata-se da Bicicleta Aranha, que foi modelada e analisada em ambiente computacional e posteriormente construída em escala reduzida. Para isso, foram desenvolvidos os desenhos do projeto e uma simulação computacional realizada a fim de observar alguns parâmetros de resistência. Na sequência um modelo real simplificado foi construído em escala reduzida utilizando uma placa de Poliestireno de Alto Impacto. Apesar de serem encontradas algumas dificuldades, a construção do modelo em escala reduzida possibilitou a observação do movimento das pernas do mecanismo, obtendo resultado semelhante ao observado nas simulações computacionais.

Palavras-chave: Mecanismos de Jansen, Bicicleta Aranha, Modelagem 3D e Simulação Computacional.

1. INTRODUÇÃO

As Strandbeests foram desenvolvidas após dez anos de pesquisas pelo artista holandês Theo Jansen, sendo essa denominação atribuída devido as estruturas se assemelharem à animais de praia (Weschler *et al.*, 2015). A morfologia das pernas múltiplas, a flexibilidade e coordenação do mecanismo são seu principal foco de estudo, cujas pernas são comumente conhecidas como Mecanismo de Jansen. Elas consistem em hastes de diferentes comprimentos ligadas umas às outras, tendo semelhanças com a estrutura das pernas de um inseto. Jansen desenvolveu seus esqueletos vivos por mais de doze anos. Enquanto algumas possuem um toque artístico e arquitetônico, outras assemelham-se a exemplos encontrados na natureza em animais, como rinocerontes. Theo Jansen compara tubos de plásticos amarelos com ossos, na Figura 1 é ilustrado um modelo construído pelo inventor em uma de suas exposições.

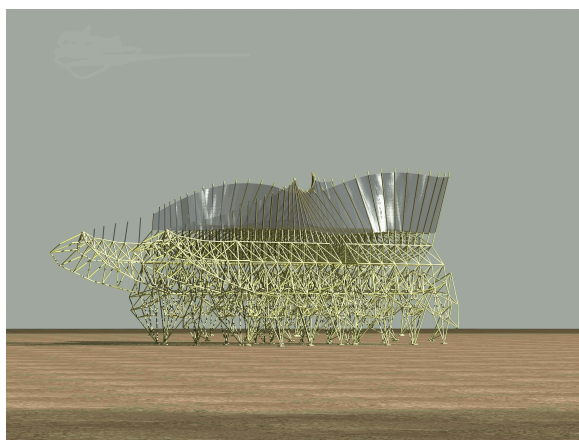


Figura 1: Strandbeest construído com tubos de plástico (Vicente, 2005).

As Strandbeest começam a ganhar forma em simulações computacionais, e então, transformam-se tridimensionalmente com tubos leves e flexíveis, fio de nylon e fita adesiva. O projeto de Theo Jansen, encontra-se em sua 7ª geração, que pode transportar passageiros em seu interior com massa superior a duas toneladas. Posteriormente, o autor do projeto

deve torná-las autônomas (Vicente, 2005).

Muitos estudos ainda estão sendo desenvolvidos por cientistas, mecânicos e pesquisadores afim de aprimorar este tipo de mecanismo para diferentes aplicações, principalmente em países do Leste Asiático. Apesar de não haver produção e comercialização em larga escala de produtos inspirados no mecanismo de Jansen, o avanço de estudos e tecnologias para design e fabricação mostram o potencial promissor do modelo. Diante de vários tipos de terrenos irregulares, arenosos, com esburacados ou pantanosos, este tipo de mecanismo demonstra possuir bom desempenho para locomoção, já que um convencional teria dificuldades nessas condições. Sua utilidade é tanta que poderia ser aplicado em vigilância de segurança, operações de espionagem, exploração em diversos terrenos, marcação de campo, na mineração, entre outros.

Uma aplicação desse mecanismo foi estudada para a substituição das rodas em uma cadeira de rodas, possibilitando mais mobilidade para o cadeirante em terrenos de difícil locomoção (Borges, 2016). Além disso, segundo o levantamento de Sengupta and Bhatia (2017), o mecanismo pode ser integrado à caminhões de mineração ou basculantes de transporte de carga, robôs utilizados para marcações em campos esportivos e diversos tipos de robôs com pernas, capazes até de subir escadas. Adicionalmente, o mecanismo foi analisado e suas vantagens foram comparadas com um sistema de mineração convencional que utiliza caminhões para o transporte do minério (Patnaik, 2015).

Portanto, este trabalho tem objetivo de desenvolver o projeto de um Mecanismo de Jansen em escala reduzida, no padrão de uma Bicicleta Aranha, modelada e analisada no ambiente computacional SolidWorks e posteriormente manufaturada com materiais de baixo custo. Dessa forma, foram desenvolvidos os desenhos do projeto e simulações computacionais a fim de observar alguns parâmetros de resistência. O modelo foi construído em escala reduzida utilizando uma placa de Poliestireno de Alto Impacto (PSAI).

2. MECANISMO DE JANSEN

O mecanismo de Jansen é composto principalmente por conexões em barras, que se movimentam devido a ação rotativa, sendo essa gerada por rotação de eixo, motor elétrico, alavanca de força, manivela, etc. Essa rotação é responsável por deslocar toda a articulação. Existem quatro fases dessa movimentação; Levantamento, retorno, suporte e abaixamento, que combinadas, impulsionam o mecanismo (Kakati *et al.*, 2015). De todas as conexões, uma específica atua como a entrada rotacional que resulta no movimento de caminhada de todo o mecanismo (Komoda, 2016). As barras são sincronizadas para traçar uma trajetória elíptica que se torna mais nítida no momento em que a perna toca o solo (Figura 2a).

Quando duas articulações Jansen são conectadas entre si por um eixo horizontal giratório, ambas as pernas ajudam a máquina a se mover para frente ou para trás, dependendo da rotação no sentido horário ou anti-horário do eixo. A relação do membro posterior com o anterior é anti fase, ajudando-os a avançar cooperativamente. O mecanismo de movimentação proposto por Theo Jansen é composto por onze barras interligadas em uma organização específica, e oito nós (A,B,C,D,E,F, G e H), sendo dois articulados e dois fixos (Figura 2b). O movimento se inicia a partir da rotação da manivela em H, e os demais componentes são fixados no seu centro 'C'. A estrutura completa possui dois pares de perna, dispostos simetricamente e movidos pela mesma manivela.

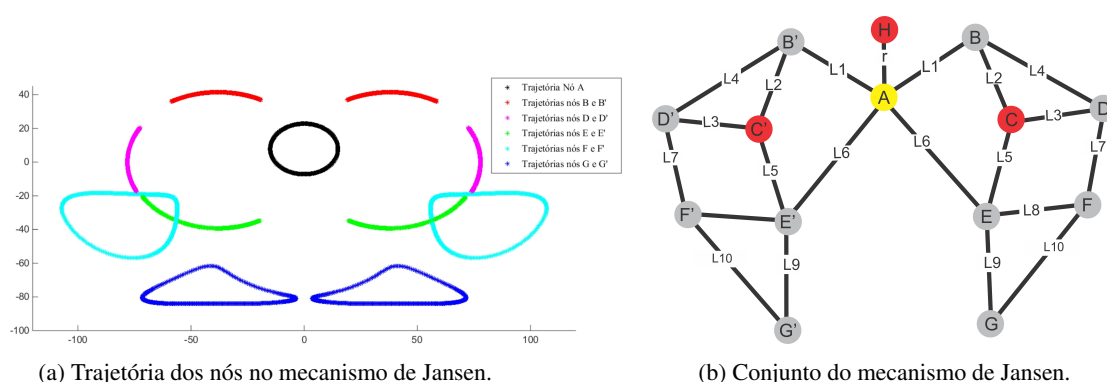


Figura 2: Mecanismo de Jansen isolado (a) e em par (b) (Borges, 2016).

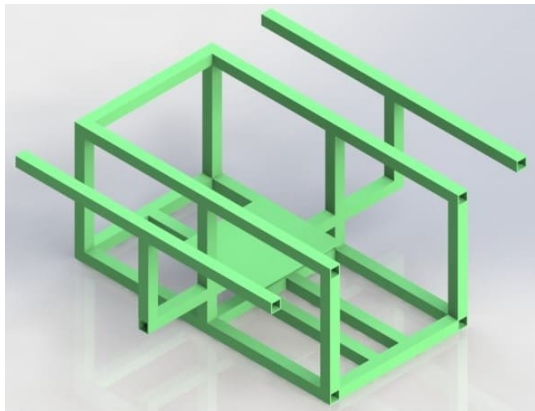
Dada a configuração do mecanismo, isto é, a disposição dos nós e das barras da forma mencionada, pode-se determinar as equações de movimento do conjunto. Este trabalho tem o foco de mostrar o processo de simulação do protótipo e manufatura do modelo em escala reduzida, por isso, as equações de movimento, cinética e dinâmica do mecanismo serão omitidas. Nesse sentido, a literatura conta com um conjunto de trabalhos publicados com o intuito de modelar matematicamente e analisar através de simulações computacionais o modelo citado (Komoda, 2016; Nansai *et al.*, 2013; Mohsenizadeh and Zhou, 2015; Wang and Hou, 2018; Bautista Montejo *et al.*, 2017; Cuadrado Mazón, 2018).

3. MODELAGEM DO PROTÓTIPO EM CAD

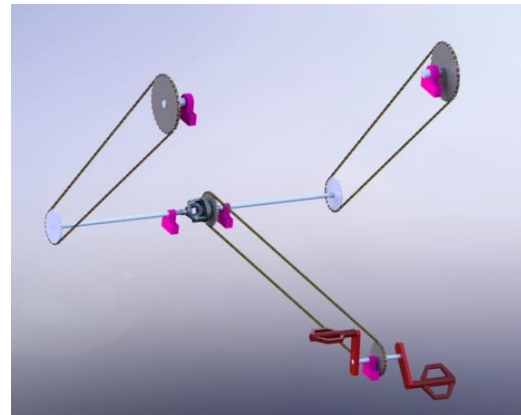
O objetivo do trabalho é construir um protótipo de Bicicleta Aranha, que é constituído pela estrutura, transmissão e pelas pernas (baseadas no mecanismo de Jansen). A estrutura tem como função comportar o sistema de transmissão e o condutor, além de unir as duas regiões do mecanismo de Jansen. Já a transmissão vem com o propósito de transformar

os movimentos circulares que o condutor exerce, em movimentos para sistemas das pernas. O sistema de transmissão (Figura 3b) é composto por seis engrenagens cilíndricas de dentes retos, localizadas nas extremidades e no centro dos eixos que compõe a estrutura, e um diferencial (Figura 3c), formado por engrenagens cônicas de dentes retos.

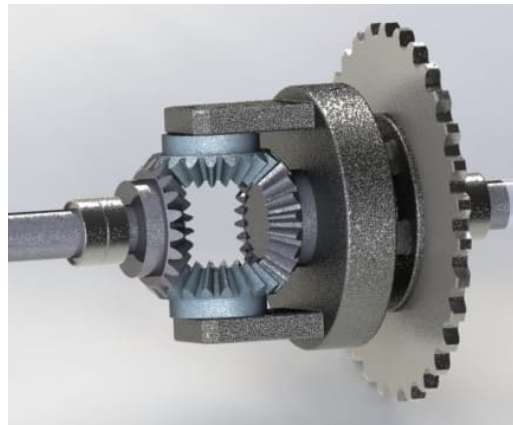
A preparação do croqui do projeto da estrutura com o suporte e o mecanismo de Jansen foi realizada através do software de CAD 3D SolidWorks, assim como as simulações de movimento e análise estática com um carregamento. A Figura 3 descreve a estrutura da bicicleta aranha, bem como o sistema de transmissão e o detalhamento do diferencial.



(a) Estrutura da Bicicleta Aranha.



(b) Conjunto de transmissão da Bicicleta Aranha.



(c) Componente do diferencial no sistema de transmissão.

Figura 3: Componentes da Bicicleta Aranha: a) Estrutura, b) Sistema de Transmissão, c) Diferencial da transmissão.

O resultado da montagem do conjunto completo está disposto na Figura 4, além da trajetória dos principais pontos de movimento do sistema, ilustrados em linhas pretas que se encontram nas pernas do mecanismo. Nela, também estão dispostos a estrutura (representada em vermelho), o sistema de transmissão com correntes, coroa e pedais, e as pernas no modelo do mecanismo de Jansen (representadas em azul). Um banco foi adicionado para uma representação didática de onde o ocupante da Bicicleta Aranha se encontraria.

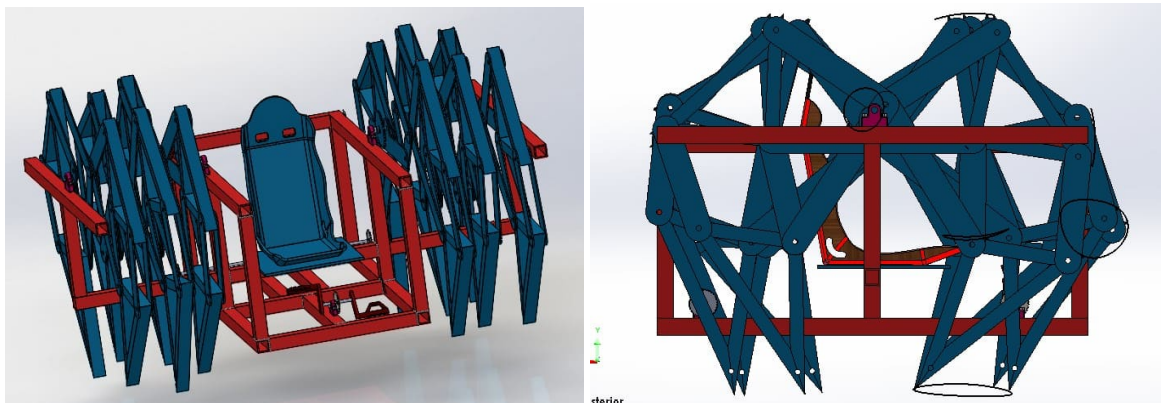


Figura 4: Montagem completa da Bicicleta Aranha e trajetória dos pontos principais de movimento.

4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

No protótipo desenhado em SolidWorks, aplicou-se uma força axial sobre o banco, representando uma carga de 120 kg em condições padrão de gravidade ao nível do mar. O material aplicado para simulação foi o aço AISI 1020 sendo um tubo de seção transversal quadrada com lado igual a 40 mm. Tal procedimento foi utilizado para a efetivação das análises de deformação, deslocamento e tensão. Para verificar a viabilidade e confiabilidade do projeto, foram realizadas simulações no conjunto completo, onde foi possível determinar o deslocamento e aceleração lineares e angulares. A Figura 5, mostra o comportamento cinemático do mecanismo de Jansen. Foi utilizado como referência, uma cadência constante de 50 rpm e o triângulo inferior de uma peça para estudo, verifica-se padrões nos gráficos, devido a ligação das pernas entre si pelo virabrequim, que realiza um deslocamento angular constante.

O gráfico da Figura 5a as pernas realizam um movimento de sobe e desce, de acordo com o giro do virabrequim, o mesmo se aplica aos gráficos da Figura 5c. Os gráficos da velocidade e aceleração seguem um padrão de dois picos, como mostrado nas Figuras 5d e 5e, pois a trajetória da perna, como mostrado na Figura 4 é elíptica, com os picos de velocidade e aceleração menores, quando a trajetória da perna é oposta a gravidade.

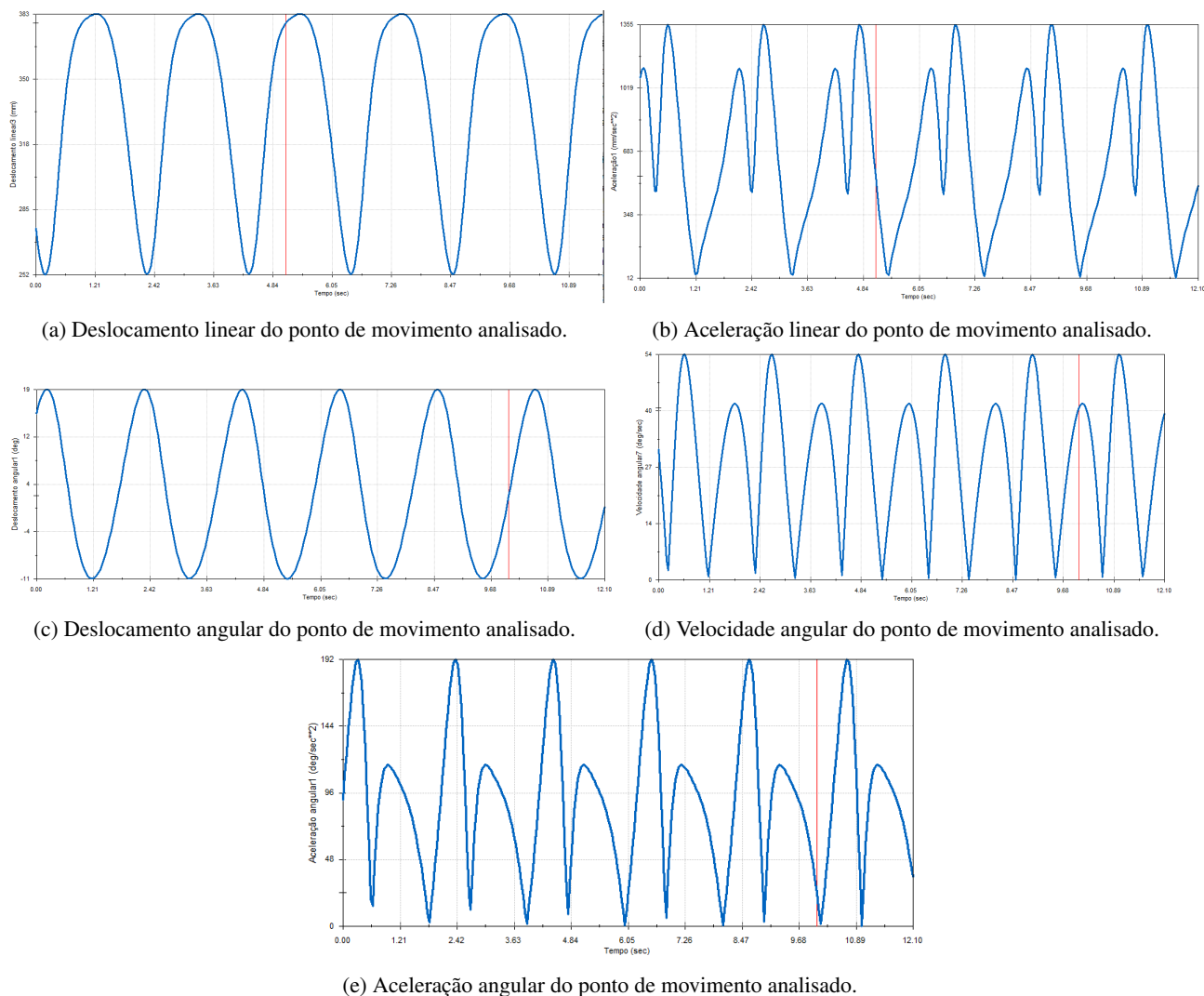


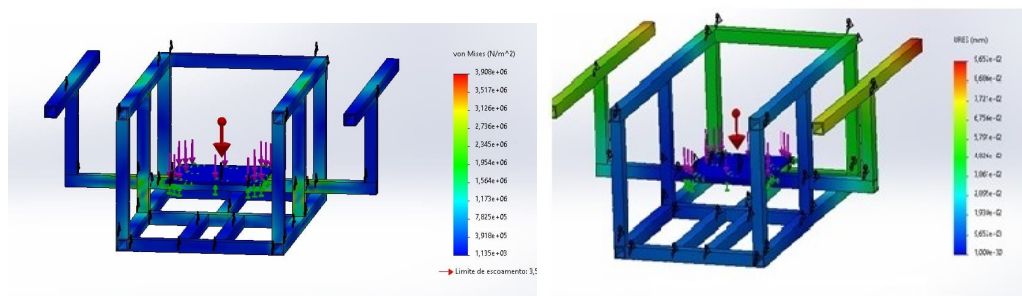
Figura 5: Gráficos do movimento linear e angular.

A análise de tensão é realizada na estrutura que suporta as pernas do mecanismo. Na (Figura 6), é mostrado através da escala de cores a distribuição de tensões, deslocamento e deformações desta estrutura.

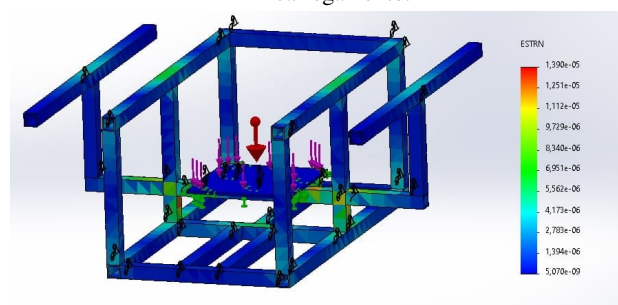
Observa-se que os maiores valores de tensão, estão localizados onde se tem o encaixe do banco. Além disso percebe-se que a estrutura sofre pequenos deslocamentos na extremidade e que devido ao valor da tensão de Von Mises ser menor que o limite de escoamento, não há falha do equipamento causado pela tensão gerada na estrutura.

5. CONSTRUÇÃO DO MODELO EM ESCALA REDUZIDA

No intuito de observar o movimento do mecanismo de Jansen, foi manufaturado um modelo em escala reduzida. Para isso, o material utilizado foi uma folha (dimensão: 2x1 m e 3mm de espessura) de Poliestireno de Alto Impacto (PSAI), resina que é utilizada para confecção de chapas, amplamente aplicado na comunicação visual, na confecção de placas de vinil adesivo e na termoformagem de peças e relativamente possui boa resistência mecânica.



(a) Análise da tensão de Von Mises devido ao carregamento aplicado. (b) Análise do deslocamento da estrutura devido ao carregamento.



(c) Análise da deformação da estrutura devido ao carregamento.

Figura 6: Análise estática da estrutura do sistema da Bicicleta aranha.

Os cortes foram feitos na máquina de corte à laser Rhino RML 1390 com os seguintes parâmetros: velocidade de corte de 30 mm/s; 60% da potência máxima e corrente da saída de 28 mA, evitando assim a formação de rebarbas e imperfeições nas peças confeccionadas.

As peças preparadas a partir da folha de PSAI, após serem cortadas à laser foram separadas e na Figura 7 têm-se um panorama geral do conjunto completo.

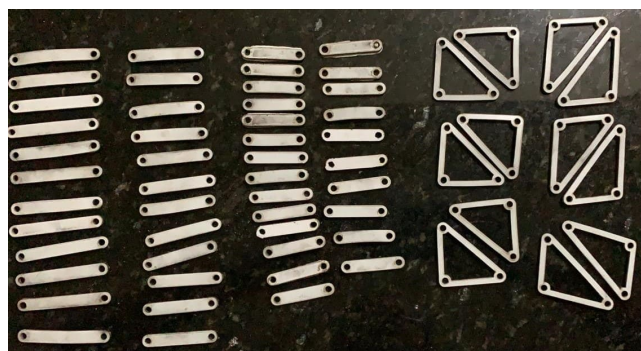


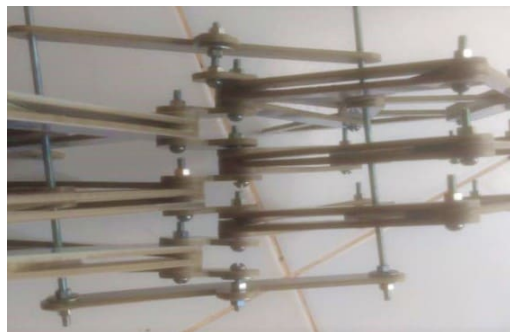
Figura 7: Peças confeccionadas para manufatura das pernas do modelo em escala reduzida do mecanismo de Jansen.

A Figura 8 mostra as etapas de construção, montagem e o modelo em escala reduzida montado em sua forma final.

O modelo do mecanismo de Jansen apresentou limitação de movimento, devido a montagem do virabrequim, pois foi observado perda de transmissão de torque no sistema devido às suas imperfeições construtivas, sendo este produzido materiais adaptados tais como parafusos, porcas, palitos de churrasco e cola. Além disso, o uso do conjunto porca-parafuso para iniciar o movimento, apresentou folga, comprometendo o sistema. Tal cenário poderia ser evitado, com a aplicação de rebites nas conexões e na montagem do virabrequim a fim de obter um modelo com melhor funcionalidade. Ademais, implementar uma estrutura para melhorar a estabilidade e funcionamento dos mecanismos das pernas.



(a) Construção do modelo em escala reduzida.



(b) Vista superior do modelo em escala reduzida.



(c) Modelo em escala reduzida completo montado.

Figura 8: **Confeção do modelo em escala reduzida do mecanismo de Jansen aplicado no sistema da Bicicleta Aranha.**

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve o foco na produção e manufatura de um modelo em escala reduzida do sistema de uma Bicicleta Aranha, baseada no mecanismo de Theo Jansen. Além disso, foram realizadas análises estática e cinemática do sistema, utilizando um software de simulação computacional.

Apesar de dificuldades terem sido encontradas na manufatura do modelo, o funcionamento do mecanismo foi observado na prática, de modo que o movimento das pernas do protótipo reproduziu àquele que foi modelado computacionalmente.

7. REFERÊNCIAS

- Bautista Montejo, A., Tadeo Chávez, A. and Torres Chimal, F., 2017. “Análisis cinemático y dinámico del mecanismo theo jansen”. *Jóvenes en la Ciencia*, Vol. 3, No. 1, p. 484–489.
- Borges, J.S., 2016. “Aplicação dos mecanismos de locomoção do tipo jansen em cadeiras de rodas”. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Otimização). Universidade Federal de Goiás.
- Cuadrado Mazón, K.C., 2018. *Análisis cinemático y cinético del mecanismo Theo Jansen. Diseño y construcción de juguete prototipo*. B.S. thesis, Quito, 2018.
- Kakati, U., Rameez, M., Medhi, P. and Moorthy, M., 2015. “Design and fabrication of a walking chair using linkage mechanism”. *International Journal of Engineering Research and*, Vol. V4. doi:10.17577/IJERTV4IS080193.
- Komoda, K., 2016. “A determinant analysis to detect the singularity of the extended theo jansen mechanism in the phase-rotation-amplitude parameter space”. *Journal of Computer Science & Systems Biology*, Vol. 09. doi:10.4172/jcsb.1000215.
- Mohsenizadeh, M. and Zhou, J., 2015. *Kinematic analysis and simulation of theo jansen mechanism*. Ph.D. thesis, Lamar University.
- Nansai, S., Elara, M.R. and Iwase, M., 2013. “Dynamic analysis and modeling of jansen mechanism”. *Procedia Engineering*, Vol. 64, pp. 1562 – 1571. ISSN 1877-7058. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.09.238. International Conference on Design and Manufacturing (IConDM2013).
- Patnaik, S., 2015. “Analysis of theo jansen mechanism (strandbeest) and its comparative advantages over wheel based mine excavation system”. *IOSR J Eng*, Vol. 5, No. 7, pp. 43–52.
- Sengupta, S. and Bhatia, P., 2017. “Study of applications of jansen’s mechanism in robot”. *Int J Adv Res Innov*, Vol. 5, No. 3, pp. 354–357.
- Vicente, J.L.D., 2005. “Strandbeest theo jansen”. Disponível em: <https://www.artfutura.org/v3/en/theo-jansen/>. ArtFutura Catalog. Acesso: 08/04/2022.
- Wang, C.Y. and Hou, J.H., 2018. “Analysis and applications of theo jansen’s linkage mechanism-theo jansen’s linkage mechanism on kinetic architecture”.

Weschler, L., Jansen, T. and Herzoq, L., 2015. *Strandbeest - The dream machines of Theo Jansen*. Taschen. ISBN 3836548496.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

SIMULATION AND MANUFACTURING ON A REDUCED SCALE OF A JANSEN MECHANISM MODEL

Cássio Bruno Florêncio Gomes, e-mail¹ cassio.bruno@discente.ufma.br

Mateus Felipe Benicio Moraes, e-mail¹ mfb.moraes@discente.ufma.br

Dalmo Inacio Galdez Costa, e-mail¹ dalmo.costa@ufma.br

Elson Cesar Moraes, e-mail¹ elson.cm@ufma.br

¹Federal University of Maranhão, Dept. of Mechanical Engineering, Dom Delgado University city, 65085-580, São Luís, Maranhão, Brazil

Abstract: *The goal of the present paper is to built a prototype of a Jansen mechanism in reduced scale. The chosen mechanism is the Spider Bicycle, which was modeled and analyzed in a computer environment and built in reduced scale. The project was modeled in a CAD environment and underwent numerical simulation in order to verify strength parameters. A prototype was built in reduced scale using a plate of high strength polystyrene. Building this reduced scale mechanism was meant to enable a verification of the motion of the legs of the mechanism, but difficulties in its construction have hindered this verification.*

Palavras-chave: *Jansen's mechanism, spider bicycle, 3D modelling, computer simulation*